ISSN 1880-9103

独立行政法人 水産総合研究センター研究開発情報

# 遠洋 リサーチ&トピックス

Vol. 9
2010. 12

ENYO Research&Topics

編集／遠洋水産研究所



まき網によるカツオ漁獲（漁船便乗調査で撮影）

独立行政法人
水産総合研究センター

# CONTENTS

もくじ



**表紙写真解説**

WCPFCによると2009年の中西部太平洋でのカツオ漁獲量は179万トンに達しようとしており、このうちの89％の159万トンがまき網によって漁獲されている。日本近海においても、近年のカツオ漁獲の半数はまき網によるものである。まき網漁業からの情報を資源評価に活かしていくことが、今後のカツオ資源研究においても重要である。この写真は、カツオ資源問題対応への業界協力の一環として平成22年度から始まった漁船への研究者便乗の折にまき網操業を撮影したものの１葉である。竿釣漁業も合わせてカツオ漁業の操業実態・探索機器の利用状況等を観察し、漁業データのより的確な解釈を行うことを通じてカツオ資源状態のより正確な把握を目指している。

## 特集：最新の中西部太平洋カツオ資源評価結果とカツオ研究の現状

## Ⅰ．特集にあたって



かつお・まぐろ資源部長　小　倉　未　基

－　カツオ資源を取り巻く最新の情勢と科学知見を基に、産官学の協力で研究推進　－

昨年、遠洋リサーチ＆トピックス（R＆T）６号にわが国周辺海域のカツオ不漁問題を中心に中西部太平洋のカツオ資源の現状について報告した。その後、2009年の三陸近海漁況は盛り返すことなく過去最大規模の不漁に終わり、12月の中西部太平洋まぐろ類委員会（Western and Central Pacific Fisheries Commission, WCPFC）第６回年次会合でのわが国からの声明の中でも日本沿岸でのカツオ不漁問題が触れられた。この１年、引き続きマスコミ等でもカツオ資源問題が取り上げられることも多かったが、水産庁に

よるカツオ資源問題検討会も５回を重ね、業界からも調査研究への最大限の協力体制が構築され、遠洋水産研究所も組織改組を行い（Ｒ＆Ｔ８号）、オールジャパンでのカツオ資源研究強化が進められてきた。

2010年８月のWCPFC科学委員会では、日本周辺の近年の不漁状況についてデータを示して説明し、熱帯水域における高水準の漁獲が我が国近海を含む高緯度域への回遊減少を引き起こしている可能性を科学委員会として提起することとなった。資源評価では、日本の竿釣り漁業データを経年の質的変化を考慮して再解析し、これを重要な情報として使用した結果、総資源量推定値の経年変化が2000年代後半に減少傾向を示すなど、これまでとは大きく異なる結果が示された。これらを基に2010年12月にWCPFC第７回年次会合で行われる資源管理に向けた議論が大いに注目される。

Ｒ＆Ｔ本号のカツオ特集では、まず８月の科学委員会におけるカツオ資源評価に係わる最新の情報を詳しく解説した。その後に若干専門的にはなるが、資源評価・管理の基礎となる生物学的知見として、成長・成熟・系群解析・移動回遊の各分野についてこれまでの研究をレビューすると共に最新の知見を紹介した。Ｒ＆Ｔにはあまりそぐわない書きぶりかもしれないが、資源評価の詳細等を出来る限り速やかに皆様のお目にかけられる形にする様、研究所の“情報誌”の場を使用させていただいたことをお許し願いたい。以下に各章の要旨を記した。

Ⅱでは、本年のWCPFC科学委員会で２年ぶりに行われたカツオ資源評価について周辺情報を含めて詳述した。今年８月の科学委員会では、近年の日本周辺海域での漁況変化を踏まえ我が国近海へのカツオ来遊が悪化している状況等を主張すると共に、我が国から積極的にデータ提供と解析を行い、日本の竿釣CPUEの新たな解析を行った。資源評価は前回同様、統合モデルであるMultifan-CLを用いて行われ、データの更新とモデル内の海区・漁業定義の変更に加えて、新しい竿釣りCPUEを資源評価モデルの資源量指数として用いた。今回の資源評価の結果は、2008年の前回評価よりやや悪化したものの、カツオ資源利用についてはまだ持続的水準に留まっているとされた。ただし、近年竿釣りCPUEは低下し、漁獲係数および資源量も急速に変化してきていることから、カツオに対する漁獲努力の拡大を注視していくべきと勧告された。また、熱帯水域における高水準の漁獲が、我が国近海を含む高緯度域への回遊減少を引き起こしている可能性も指摘された。来年にも再度資源評価が行われる可能性もあり、表層漁業からの資源豊度指数の改善は、我々に課せられた大きな課題である。

Ⅲでは、成長・成熟研究をレビューし、特に2000年代に入って精力的に行われた厳密な研究手法によって明確になった事実を確認した。研究対象として非常に難しい高度回遊性魚類の生理生態研究に100年近く前から果敢に挑戦されてきた歴史、近年の精確な処理技術の活用と科学的議論を経て、カツオは１年で44㎝に成長し周年産卵すること等が明らかになった。主要なまぐろ類と遜色の無い早い成長と熱帯性の魚類としての生殖生態は、資源評価・管理の上でも重要な特徴であることを改めて認識する必要がある。

Ⅳでは生物学的系群の考え方を整理したが、遺伝学的研究分野の急速な技術進歩に伴い、逆に種々の解釈の可能性が提起され未だに明確な結論が得られていないのが現状である。しかしながら、資源管理の単位は、漁業の連続性や標識放流等による直接的な魚群交流から、WCPFCの管理水域と同様の中西部太平洋を１つの管理系群として当面は考えられている。

Ⅴには移動回遊、すなわち日本近海への北上来遊を中心にこれまでに想定されている４つの主要来遊ルートについて概説した。しかしながら、標識放流や漁業活動を中心としたこれまでの検討では漁業対象になる以前の小型魚（30㎝、500ｇ以下）の動向は明確にはつかめておらず、北上回遊の起源を“不”明確にした来遊図を新たに提起した。今後、北上来遊群の起源を明確にするために多様な技術を組み合わせた研究を早急に進めると共に、回遊メカニズム研究によって来遊変動への海洋環境等の影響を明確にする必要がある。

以上、最新の情報を基に、研究機関の方々には今後のカツオ資源研究に一層の参画・ご協力を願い、業界関係や一般の方とはカツオ資源利用管理についての建設的な意見交換を行っていきたいと考えている。

# Ⅱ．中西部太平洋カツオの資源評価

かつお・まぐろ資源部かつお・びんなが研究室長　魚　﨑　浩　司



― カツオ資源は持続的水準に留まっているが、資源状況が急速に変化しており状況を注視すべき。熱帯水域における高水準の漁獲が、我が国近海を含む高緯度域への回遊減少を引き起こしている可能性にも言及。―

## はじめに

WCPFCとは中西部太平洋のかつお・まぐろ類およびかじき類を扱う国際漁業委員会（あるいは地域漁業管理機関、RFMOとも呼ばれる）である。WCPFCの枠組みのなかで、Scientific Committee（科学委員会、SC）は、管轄する資源について資源評価を行い、それら資源の利用（つまり漁獲）を制限しなければならないほど資源量が減少していないかを科学的データに基づいて判断を下し、管理者に対して勧告を行う、というのが主な役割となっている。「勧告」というとなにやらおどろおどろしいが、要するに資源状態はこう考えたらいいですよ、管理はこうすべきじゃないですか、という管理者へのメッセージである。「管理者」とはWCPFC年次会合であり、各国の行政官が集まって、科学委員会が出した勧告について論議し、最終決定を下す。そして年次会合で決められたことは、各国の当局により責任を持って実行されることになる。

本年2010年８月にWCPFC第６回科学委員会がトンガ王国で開催された。WCPFC科学委員会は、毎年８月に開催され、かつお・まぐろ類資源について論議される。今回はカツオの資源評価が行われたので、その結果について紹介する。

## 中西部太平洋でのカツオ漁況

科学委員会では資源評価が最も重要な議題であるが、そればかりではなく、各国のかつお・まぐろ漁業、あるいは漁獲の実態、各魚種の生物学に関すること、資源量を計算するための複雑な計算式の組み合わせ（これを「モデル」と呼ぶ）に関すること、どうやったら資源を合理的・効率的に利用できるかなどを論議するところでもある。

まずは、中西部太平洋におけるかつお・まぐろ漁業の漁況について紹介しよう。この報告（Williams and Terawasi 2010）では、各国からデータを収集し、漁法別、魚種別にとりまとめられたものが発表された（図１）。カツオの漁獲量をみると、1970年代までは日本の竿釣り漁船による西部太平洋熱帯水域、つまりいわゆる南方漁場の開発により、総漁獲量の大半を日本の竿釣り船が占め、多い年で40万トンを漁獲していた。しかしその後1980年代には各国のまき網船による開発が全域にわたり本格化し、熱帯水域漁場の開発も始まり漁獲量急増期に入った。1970年代まで40万トン台であった漁獲量は1990年代はじめには100万トンを超え、1998年以降には120万トン前後で推移したのち、2009年は179万トン（暫定集計値）となり、それまでの最高（2007年の167万トン）を上回り過去最高となった。中西部太平洋全体では、漁獲量の増加はとどまるところを知らぬといった様相をみせている。2009年はわが国周辺では、カツオの漁獲量が前年から大きく減少して騒ぎになったが、熱帯域を中心とした2009年のカツオ漁獲量は、その減少分を補ってなお増大している。

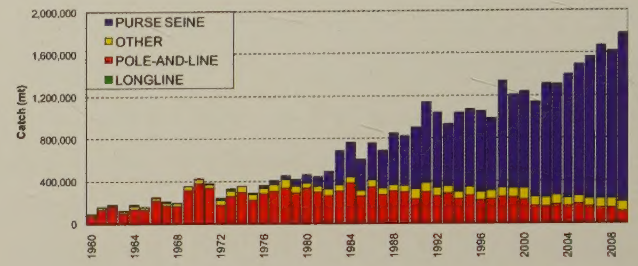



図１．中西部太平洋カツオの主要漁法別漁獲量の経年変化（トン）。Purse seinまき網、Other その他、Pole-and-line竿釣り、Longlineはえ縄

次に、熱帯域で操業するカツオの大型まき網船の１日１隻あたりの漁獲量（CPUEと呼ぶ）を紹介しよう（図２）。このCPUEは、日本、韓国、台湾および米国の国別、さらに操業形態別に示してある。ここでの操業形態は、かなり大くくりな分け方であり、Free-school（素群）、Log（流木・流れもの）といったカツオ魚群の形態およびDrifting FAD（人工筏もしくは集魚装置とも呼ばれる）を使用した操業をそれぞれ分けて集計してある。これによれば、どの操業形態、そ

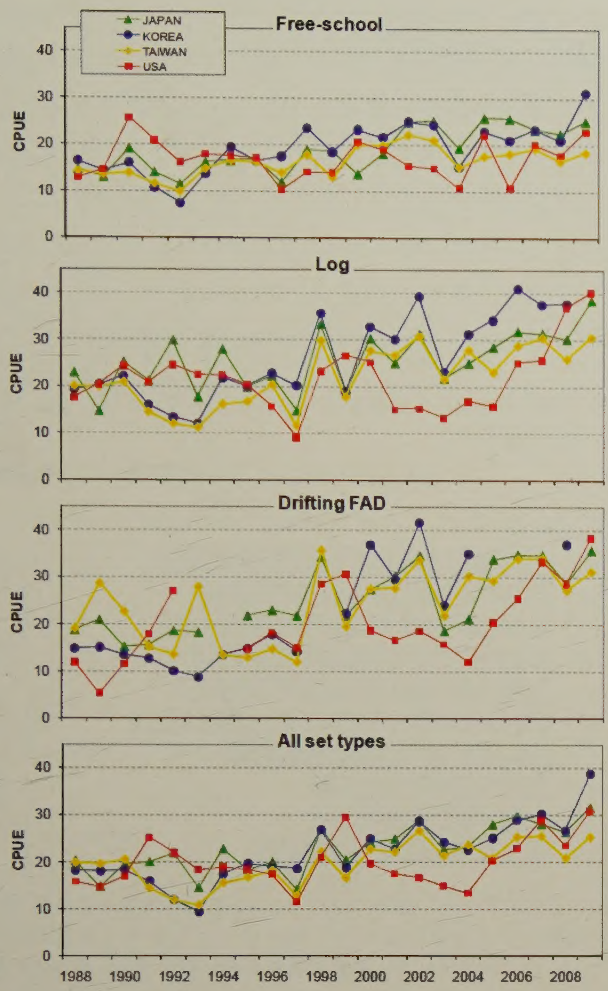



図2. 中西部太平洋熱帯域で操業する大型まき網船の国別群形態別CPUE(1日あたり漁獲量トン)。Free-school:素群、Log:流木・流れもの、Drifting FAD:人工筏、All set types:群形態込み

してどの国の漁船とも、過去20年間では増加傾向を示している。そして、どの操業形態・どの国でも2009年の値は最も高い部類に属している。このことも、日本近海でのカツオが不漁だったことを考えると、熱帯域では様子が全く異なっていることがわかる。ところで、CPUEは一般的に資源豊度を表す指標と考えても良いが、この図にみられる20年間におけるCPUEの増加は、直ちに資源量の増加を意味しているものではないと考えられていることに注意していただきたい。それは漁獲能力の増大を考慮しなければいけないからである。例えば、漁船には魚群の発見を助ける装置や、水中の魚群の動きをより正確に捉え、取り逃がしを少なくするのに役立つ装置を搭載しており、それら装置の性能向上が継続的に行われ、それが漁獲能力の向上に大きく貢献しているといわれている。そのほかにも、FADs操業法の開発・改良、漁労設備の技術開発などもある。CPUEはこのような漁獲能力の向上に大きな影響を受けており、CPUE経年変化は資源量の変動を正しく反映していないことが考えられている。ただ、長期間のCPUE経年変化をみるときには漁獲能力の向上に注意する必要があるが、短期間のCPUEを見るのであれば、そのような問題は比較的小さいとみてよいだろう。であればまき網船の対象となる魚群の2009年の資源量はここ2、3年のなかで減少しているとは考えにくい。

## 日本近海の漁況

本誌R&T第6号にも紹介されているとおり、昨年2009年の常磐三陸沖のカツオは不漁であった。その2009年の不漁を含む日本周辺域におけるカツオ漁業の現状を科学委員会に報告することは重要なことである。この日本からの報告(Uosaki *et al.* 2010)について紹介しよう。報告では日本周辺のカツオについて最近10年間の日本の漁業から得られる指標について整理している。まず、北緯20度以北の漁獲量をみてみると(図3)、2008年までは11.2万トンから18.3万トンの間で推移していたが、2009年には8.1万トンと大きく減少した。これは2000年〜2008年の平均値14.6万トンと比べて6.3万トン、率にして45%少なく、前年比で40%減であった。さらに漁法別に見ると、竿釣り(遠洋許可もしくは近海許可、20トン以上の漁船)およびまき網の二つの大きな漁業があり、総漁獲量の大部分(8割〜9割)を占めているが、2009年には竿釣りおよびまき網の両方ともが大きく減少した。

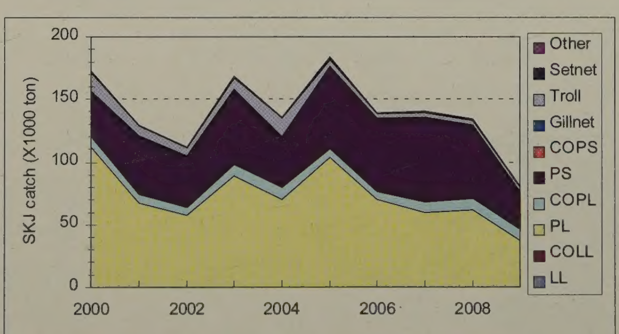



図3. 日本周辺(北緯20度以北)の漁法別カツオ漁獲量の経年変化 LL:はえ縄(20トン以上船)、COLL:小型はえ縄(20トン未満船)、PL:竿釣り(20トン以上船)、COPL:小型竿釣り(20トン未満船)、PS:まき網(海外まき網および大中型まき網)、COPS:小型まき網、Gillnet:流し網、Troll:ひき縄、Setnet:定置網、Others:その他

次に、竿釣り漁業の漁獲量について紹介する。竿釣り漁業の中にはカツオを生鮮で水揚げする中型船グループと、冷凍物を水揚げする大型船グループに分けることができ、日本近海では中型船グループがより多くのカツオを漁獲していることから、以下中型船グループ（以下中型竿釣りと呼ぶ）に注目して整理した。中型竿釣りは日本近海の中では東北沖（ここでは北緯35度以北を集計した）で最も多くを漁獲する（図４）。東北沖での漁獲量は三つの海域の中でも最も大きいが、年による増減の変化が大きい。つまり、豊漁だったり不漁になったりの変化が激しいという特徴がある。そして、この東北海域でのCPUEをみてみると（図５）、2009年のCPUEはこの10年間で最低だったこと、そして最近の３年間（2007～2009年）の平均CPUEはそれまでの平均CPUEと比べ22％減少していることがわかる。

次に、日本周辺のカツオ漁業の漁期終了の早期化について示した。中型竿釣り船は春からその漁場を徐々に北上させ、例年６月には漁場の中心が北緯35度を超えて行われるようになる。そして漁場はさらに北上を続け、10月には操業の中心は北緯40度付近となり、11月になるとそろそろ東北沖での漁の終わりが近づいてくる。報告では東北海区での漁期の終了を次のように定義した。ひと月を５日ごとのブロックに分け、毎年そのブロックごとに操業日数をカウントし、操業日数が０となるブロックの一つ前のブロックを操業終了の時期とみなした（図６）。2000年～2006年には11月下旬後半ぐらいが終漁の平均的な時期であったが、2007年～2009年においてはそれまでよりも終漁時期が10～20日短くなっている。このような終漁時期の早期化から、カツオの東北沖への来遊量の減少の可能性を示した。

以上をまとめると、①中型竿釣り漁業およびまき網の2009年の漁獲量は大きく減少したこと、②中型竿釣りのCPUEは近年減少したこと、③中型竿釣りの漁期の終わりが近年早くなったことを説明した。そのほかに、カツオを対象としたひき縄漁業の代表的な例として、和歌山県のひき縄漁業の水揚げ量統計を示し、④ひき縄漁業の漁獲量は少なくとも2005年以降低い水準

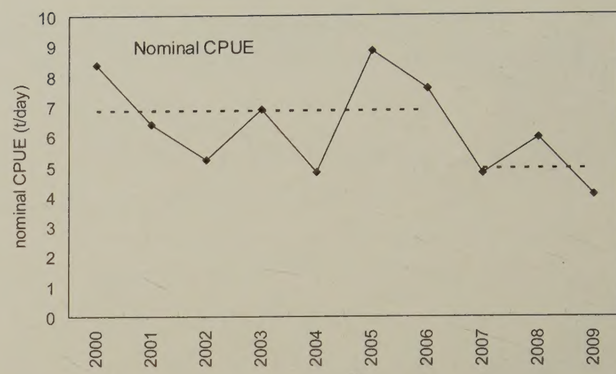


図５．東北沖海区における竿釣りのカツオ釣獲率（1日1隻あたりの漁獲量トン）

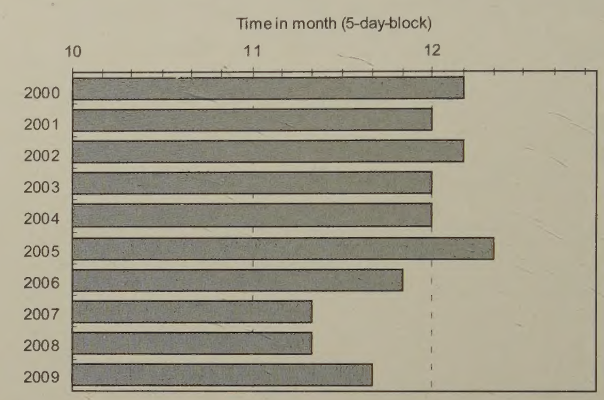


図６．近海竿釣り船（20～300トン）の東北沖漁場の終漁時期の年変化。Ｘ軸は時間を示し10月から12月までを５日間のブロックで刻んである。操業の有無を５日間のブロックごとに整理して、最後に操業した５日間のブロックをもって終漁時期とした。

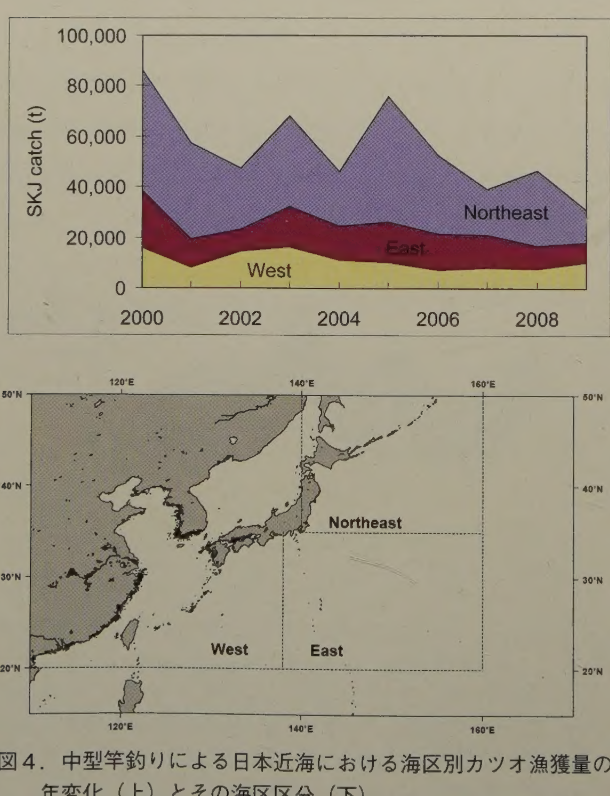


図４．中型竿釣りによる日本近海における海区別カツオ漁獲量の経年変化（上）とその海区区分（下）

が続いていることを説明した。以上から、漁況には資源量の減少がほとんど見られない熱帯域とは異なり、北の海域である日本周辺の海域は、来遊するカツオ資源量が減少している可能性があると指摘した。

この報告は、日本とはちょうど対称の位置関係となり南半球でのカツオ分布の縁辺にあたるオーストラリアからも注目されると共に、海況の影響や竿釣りの餌イワシの供給状況など他の要因に関する質問が行われるなど活発な議論が行われた。

## WCPFC科学委員会における資源評価

カツオの資源評価の結果を示した作業論文が太平洋共同体（Secretariat of the Pacific Community, 以下SPCと呼ぶ、WCPFCから主な種の資源評価作業を委託されている）の科学者から提出された（Hoyle *et al.* 2010）。この種の論文には、漁獲量統計（例、何トン獲ったか）や漁獲努力量（例、何隻の船が何日出漁したか）、その他のデータを「モデル」に入力すると、資源状態（例、何トンの資源量があった）が答として出てくるが、その計算過程と答、およびその資源量がある「基準」に照らして多いのか少ないのか、.今後今のペースで漁獲を続けても問題はないか、等の見解が書かれている。WCPFCの科学委員会では、こういった論文の内容について、計算過程や答が納得できるか審議し、一定の合意を作り上げる。必要であればさらなる計算を行う場合もある。WCPFCで用いられている資源評価における「基準」とは最大持続生産量（Maximum Sustainable Yield, MSY）である。MSY基準で考えて、これを超える漁獲圧であるかどうか、資源量はそれを下回っていないかというのが判断基準となっているのである。

前おきが少し長くなってしまったが、今回のカツオの資源評価には前回と同じMultifan-CLと呼ばれるモデルが用いられた。同じモデルを使用したといっても、そのモデルの枠組みの中で仮定や設定等を変更すると異なる答が返ってくるので、その点にも注意して見ておく必要がある。今回使用したモデルには前回2008年資源評価から多くの変更点があったが、主なものとしては、漁獲データおよび魚体サイズデータを更新したこと、海区区分を６つから３つに単純化したこと、モデルの中で定義される漁業区分を24から17に減らしたこと、日本の竿釣りCPUEを新しい解析法（個々の漁船の効果を考慮したdelta-lognormalモデル）を用い計算したことなどであった。

## 竿釣りCPUEの改善

このCPUEの新しい解析については、日本とSPCの科学者から各１編の作業論文（Langlay *et al.* 2010, Kiyofuji *et al.* 2010）が提出されており、どちらも遠洋水産研究所の研究者とSPCの研究者の共同研究の成果でもある。

資源評価モデルに入力する豊度指数データは、資源状態の結果に大きな影響を与え極めて重要である。これまでの解析では、Multifan-CLに入力する資源豊度を表す竿釣り指標は、1970年から現在までの長期間の傾向がおおむね横ばい、もしくは増加傾向を示していた。しかし、この間漁獲量が約４倍になっているにもかかわらずCPUEに変化がないというのは、いくらカツオの再生産力が高いといっても疑いたくなるし、漁業者からは「昔と比べて資源はものすごく減っている。」という声を何度も聞いてきた。この齟齬の原因として、これまでの解析では、豊度指数として使用されたCPUEが十分に解析されていないことが指摘されていた。そこで、漁獲効率の向上を考慮したCPUE解析手法を開発し、より現実的な豊度指数を得ることを目的とし、SPCの研究者らと共同研究に取り組んだのであった。（研究の内容はかなり専門的になっており、わかりにくいかもしれないがご容赦いただきたい。）研究では、操業毎データに探索機器（鳥レーダー、ソナー、低温蓄養槽、衛星海面水温受信装置）の有無データを付すことで漁獲効率を考慮し、さらに漁船の固有番号を付すことで、各船の平均的な漁獲能力を検出し、なおかつ各船の稼働期間を認識できるようにして、一般線形法（GLM）解析を行った。豊度指数の算出にはデルタ型二段階モデルを使用した。一段階目として１日ごとの群れ発見成否の指標化をbinominalモデルにより、二段階目として有漁日１日当たりの漁獲量を指数化するlog-normalモデルにより算出し、これらを組み合わせたDelta-lognormalモデルによるCPUEを豊度指数とした。

これによって得られた豊度指数はこれまでとは傾向が異なり、熱帯域でかなりはっきりした減少傾向を示

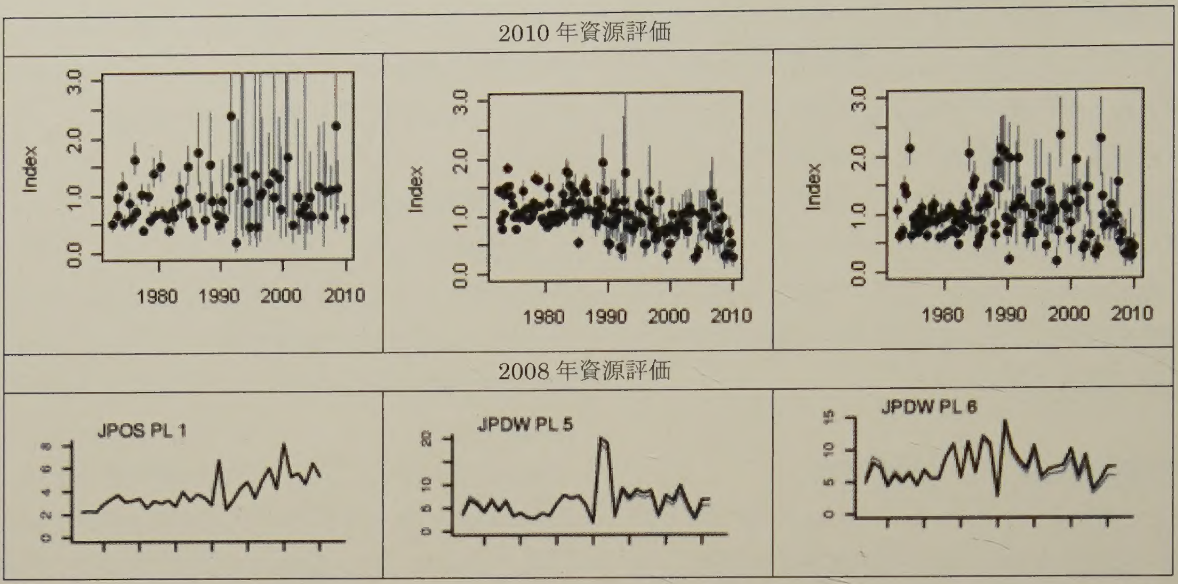



図７．2010年と2008年の資源評価に使用された標準化されたCPUE（左：北緯20度以北海区、中：熱帯域西部、右：熱帯域東部）。

した。（図７）。これは、一日当たりの漁獲量、群れを発見できなかった日数の歴史的変化の影響、漁獲能率及び探索効率の低い船が撤退した効果が顕著に表れたことで、これまでの豊度指数とは異なる傾向が示された。北緯20度以北海区では豊度指数は1990年代が比較的高く、2000年代には比較的低かった。かつて使用されていた豊度指数は1990年代以降増加していたが、今回得られた指数では減少傾向が示された。

## カツオの資源評価結果

カツオの資源評価結果から次のような資源動態であろうことが示された。なお、以下は最も妥当と考えられるモデル設定での結果である。加入量は1998年および2004～2005年に非常に高かったが、それは直前にエルニーニョが起こっており、逆に2001～2003年に加入が低かったが、それは直前の強いラニーニャ現象に続くものであった（図８）。2005年以降の加入量はやや減少したあと再び増加したと推定されたが、最近年の加入量推定値は不確実性が高い。

海区別（図９）の漁獲圧（専門用語では漁獲係数のことであるが本稿では漁獲圧と表記した）を見てみる

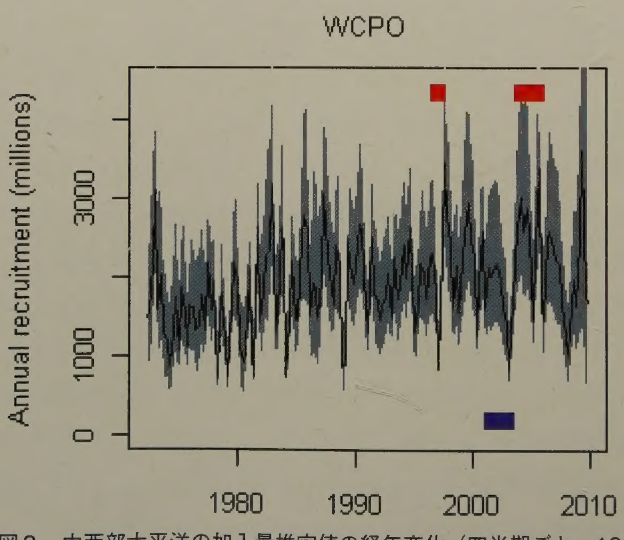



図８．中西部太平洋の加入量推定値の経年変化（四半期ごと、100万尾単位）　灰色部分は95%信頼区間を示す。赤線・青線はそれぞれ加入の多かった時期、少なかった時期を示す。

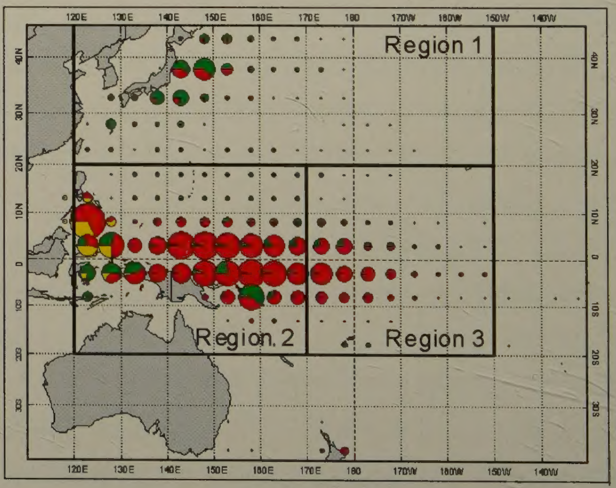



図９．Multifan-CLで使用された海区区分　本稿ではRegion １を北緯20度以北海区、Region ２を熱帯域西部海区、Region ３を熱帯域東部海区とした。円グラフは1972年～2008年の漁法別漁獲量。赤：まき網、緑：竿釣り、黄色その他。円の大きさは漁獲量に比例している。

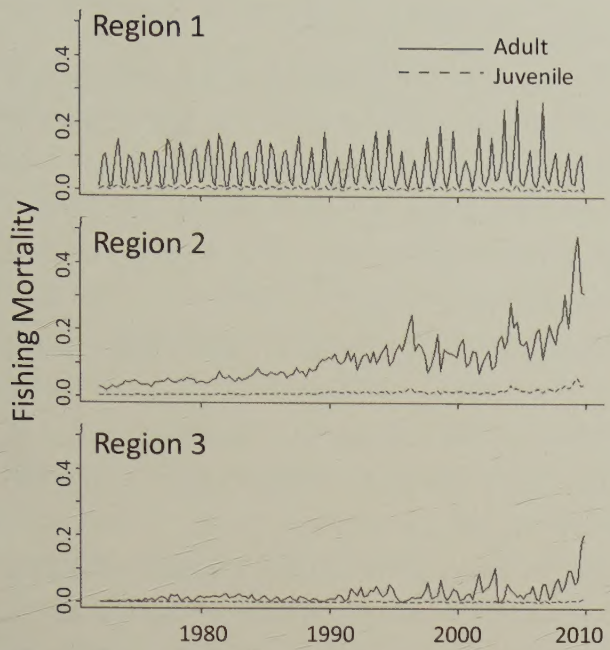



図10. 海区ごとの漁獲係数推定値の経年変化（四半期ごと、四半期あたり）

と、Region 1（北緯20度以北海区）では漁獲圧の経年変化はほとんど見られないが、二つの熱帯域海区では近年増加している（図10）。特にRegion 2（熱帯域西部海区）では2000年代中頃からの増加が著しい。別の見方をすると、この海区では1970年代から1980年代中頃では資源の十数%～20%を漁獲により間引いたが、これが年とともに増加し2005～2008年においては約50%を漁獲により間引いたと推定している。ちなみに北緯20度以北海区および熱帯域東部海区では近年この数値は約25%であった。

資源量の変動は漁獲圧および加入量に大きく影響を受けている。1988～1990年および1998～2001年に資源量が増加したが、これはその直前に起こった加入量の増加によって引き起こされたと考えられる（図11）。また2004～2006年には非常に高い加入があったが、漁獲量が大きかったので資源量は増加しなかったと考えられる。

WCPFCではMSYを管理の基準としているので、漁獲圧は「MSYを達成する漁獲圧」との相対値（$F/F_{MSY}$）が指標としてよく用いられる。この指標値が1.0の時は漁獲圧はMSYを達成する漁獲圧（$F_{MSY}$）と同じ強度であることを示し、指標値が1.0よりも大きければ$F_{MSY}$よりも大きい、つまり過剰漁獲であることを示す。同様に資源量については、「MSYを達成する資源量」との相対値（$B/B_{MSY}$）や「MSYを達成する親魚資源量」との相対値（$SB/SB_{MSY}$）がよく用いられ、指標値が1.0よりも小さいと乱獲状態であることを示す。また、漁獲圧および資源量の指標値を年ごとに計算して、それぞれ縦軸、横軸に割り振って点を打っていくと図12のようになる。このような図は2007年1月に神戸で開かれた第1回まぐろ類RFMO合同

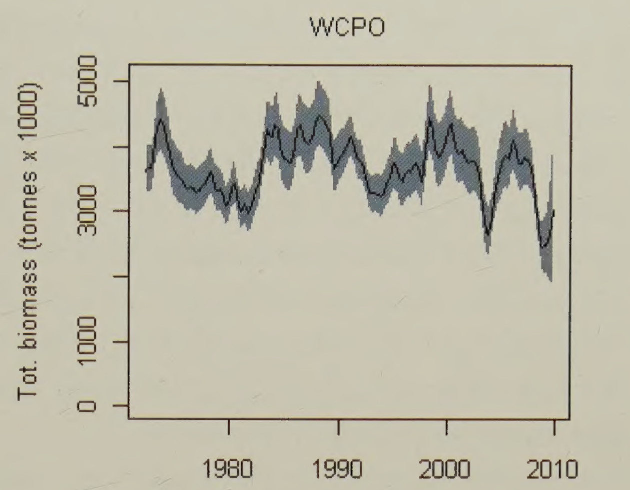



図11. 中西部太平洋の資源量推定値の経年変化（年ごと、千トン単位） 灰色部分は95%信頼区間を示す。

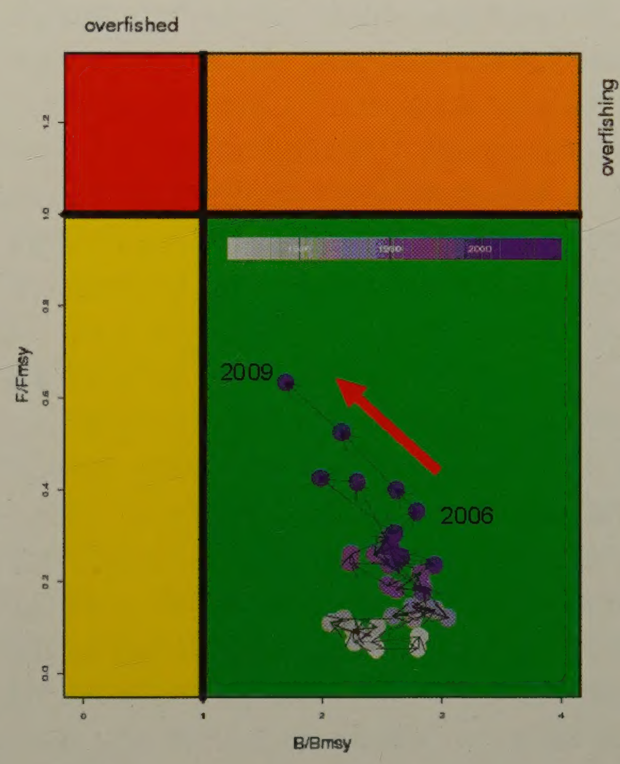



図12. 神戸プロット MSYを基準とした相対的漁獲係数（$F/F_{MSY}$）とMSYを基準とした相対資源量（$B/B_{MSY}$）との間の位置関係。

会議にちなんで神戸プロットと呼ばれている。神戸プロットではMSYを達成するレベルが1になるところが軸として配置されており、漁獲圧および資源量の相対値が1を超えるかどうかで色分けがされている。漁獲圧の相対値が1を超え、かつ資源量の相対値が1を下回るところは管理措置が急務で危険を意味する赤いゾーンとされ、逆に漁獲圧の相対値が1を下回り、かつ資源量の相対値が1を超えているところは安全を意味する緑のゾーンとされている。図12をみると、2004年から2009年はまだ緑のゾーンであるが、赤いゾーンに向かって着実に進んで いる。これはこの間、漁獲圧が増加しかつ資源量が減少していることを示している。この点が、これまでの資源評価結果とはかなり異なっているのである。これまでの資源評価では、漁獲圧が増大し、資源量が減少しつつある様子などは全くみられなかったが、今回の結果で近年の資源の悪化する様子が明確に示された。

WCPFCの資源評価では「現状」を資源評価に使用したデータの最終年を除く最近の4年間の平均と定義している。漁獲量や資源量の最終年の推定値は推定精度があまり高くないため「現状」には含めないようにしているのである。そして、カツオの現状の相対的な漁獲圧の指標値は0.34と推定され、相対的な資源量の指標値は2.42と推定された。よって、現状の漁獲圧はMSYレベルを下回っており過剰漁獲にはなっておらず、現状の資源量はMSYレベルを上回っており、乱獲状態にはなっていないと結論づけられた。今回の資源評価では近年の漁獲圧にははっきりした増加がみられるとともに、資源量に減少傾向がみられるので、近年の数カ年で定義される「現状」の漁獲圧や資源量は比較的楽観的と感じられるかもしれない。

## 資源の状態のまとめと資源管理の勧告

会議では、この作業論文の発表の後、多くの質疑応答がなされた。発表された資源状態についての解釈、今後のカツオ漁業の見通し、漁業管理のあり方、資源研究の方向性等についての論議が行われ、資源評価結果の概要とこれらの論議が勧告としてとりまとめられた。その骨子を以下に示す。

（資源状態のまとめ）
①近年MSYに対する漁獲圧と資源量の指標は急速に1.0に向かって近づき始めたが、現状の漁獲圧はMSYレベルを下回っており過剰漁獲にはなっておらず、現在の資源量はMSYレベルを上回っており、乱獲状態にはなっていない。
（資源管理のまとめ）
②資源評価結果は、資源量は中程度の開発、漁獲圧は持続的であるという結果を示しているが、今後資源量が減少し、MSYレベルに近づくにつれて（漁獲圧が変わらなければ）漁獲量は減少していくであろう。
③近年、MSYに対する漁獲圧と資源量の指標が急速に変化しているので、努力量の増加には監視が必要である。
（資源状態のまとめ）
④まき網の努力量を増加させてもそれに見合ったカツオの漁獲の増加は期待できなくなっている。さらに、メバチやキハダの漁獲死亡の増大につながるかもしれない。漁船隻数の管理にあたっては、これらのことを留意すべきである。
⑤まだ実証されていないものの、熱帯水域における高水準の漁獲が、我が国（日本）近海を含む高緯度域への回遊現象を引き起こしている可能性がある。

この勧告について少し補足しよう。①と②にはMSY基準で考えた場合の資源状態の判断結果が示されている。なお、②の前半までは、過去の資源評価と同じ内容といってよい。②の後半はCPUEが減少していることから資源量が減少しているであろうと考えられ、今後MSYレベルに近づくにつれて、漁獲量は減少することを述べている。

③および④は漁獲努力量の増加に対する懸念について述べている。確かに現状の努力量はMSY基準でいえば、まだ増加させてもよい水準であるという解釈も可能であるが、カツオの漁獲量の大部分はまき網によって漁獲されており、現状のまき網の努力量水準ですら、混獲されるメバチ・キハダの小型魚の量はメバチ・キハダ資源への深刻な影響を与えており、この点ではこれ以上の努力量増大に大きな懸念を示している。なお、メバチ・キハダ小型魚混獲を減らすための管理措置はすでに導入されている。また、「現状」とはそ

の定義上4年間の各値を平均したものであり、その4年間およびそれに続く1年の期間には、はっきりした漁獲圧の増加がみられ、こうした動きに対する懸念も暗に含まれているといえる。④は努力量が大きくなると資源量の減少も急になるため、努力量の増加に見合った漁獲が得られない。つまり平衡状態を仮定した加入量Rあたりの漁獲量YすなわちY/Rのカーブは最初のうちは傾斜が急であるが、漁獲圧が大きくなるにつれては緩やかになることを意味している。

⑤については熱帯域では漁況の悪化は見られないが、日本周辺での不漁という事実を会議で示したことが、豪州およびニュージーランドの共感をも誘い、今回の会議で初めて盛り込まれたのであった。

## 今後の課題

資源評価の結果次第では漁業の規制が行われる。規制措置は漁業者にとっては死活問題になることもある。よって資源評価は正確で偏りのないものでなければならない。しかし、残念ながら現在の資源評価は完璧なものではなく、これから改善すべきところは少なくないだろうとも考えられる。以下は今回の資源評価で示された今後の課題である。まず、次回の資源評価にはSPCおよびWCPFCが行っている熱帯域での大規模標識放流調査（PTTP）の結果を早急に資源評価に組み込むよう指摘された。また、PTTPおよびPTTPで対象となっていない北緯20度以北の海域でも標識放流における報告率（漁獲された標識魚のうち研究機関に実際に報告される割合）の推定精度を上げる取り組みをすすめること、北緯20度以北においても標識放流調査も重要であることが指摘された。これらは漁獲圧の推定精度向上に非常に役立ち、移動率についても精度向上が期待できる。

次に日本の竿釣りCPUEの標準化は今回改善が大きく進んだが、竿釣り漁業は中西部太平洋全体の漁獲量に対して現在4％程度の漁獲しかなく、より大きな漁獲量を占めるまき網についてCPUEの変動に関与する要因の分析を進めることが重要であるとされた。また今回の資源評価においてはモデルで推定される成長が、耳石から推定した成長とややかけ離れた結果となったことから、いろいろな海域での齢査定情報を整備していくことが重要であることや、空間生態系-資源動態モデル、SEAPODYM等のモデル（R＆T本号23ページ参照）による海洋環境とカツオの加入、移動、回遊の関係についての研究を進めることによって、Multifan-CLモデルの改善につながる可能性があることが指摘された。

さらに、近年漁獲圧が増加し、なおかつ資源量の減少が急速に進んでいることから、次回の資源評価においては将来予測を実施し結果を示すことが求められた。そのほかに各国の大型まき網によって漁獲されるカツオを含むまぐろ類の漁獲量を正しく推定するための方法論について検討をすすめることも促している。漁獲量の推定方法がかわると、カツオの総漁獲量において21万トン以上もの差が生じてしまう場合も想定されている。

これを受け、遠洋水産研究所は竿釣りCPUEの標準化についてさらなる改善をすすめること、具体的には個別の漁船に装備されている探索機器等の情報をさらに整理することを予定しているほか、まき網のCPUEについても情報の収集と解析をスタートする。また標識報告率の推定のための実験も検討している。以上は資源解析モデル改善への直接的な取り組みと位置づけられるが、これら以外に、今年度、漁業者各位の協力を得て実施しているより詳細な漁船の移動情報（GPSロガーで収集）を使用して、これまで全く入手できていなかった漁獲につながらなかった魚群数の情報を資源の豊度に関連する情報として活かせないかの研究をスタートさせた。こちらの方はデータの蓄積が必要なため、やや長いスパンで取り組んでいく予定である。

## おわりに

遠洋水産研究所では、漁業者各位の協力により研究者が漁船に便乗させていただく機会を得て、漁業現場で実感している現状についていっそう強く認識するとともに、新たな解析方法の検討に直結する有益な経験を得ている。WCPFC科学委員会ではデータに基づく主張を行い、一定の成果をあげることができたが、国際会議での主張にはより一層のデータが必要である。今後もこの実感を客観性のある情報として整理するとともに、その要因についての検討を継続していきたい。そのため、国内の漁業関係の方々には漁業実態調査への協力を引き続きお願いしたいと考えている。ま

た、遠洋水研以外でカツオ研究に携わる方々には、われわれの把握しきれない懸念や現象について、客観的なデータ、あるいはどうしたらデータ化できるかについてのアイディアなどを提供していただけるようご協力をお願いするところである。

### 参考文献


Anon. (WCPFC).(2010): Summary report. The Commission for the Conservation and Management of Highly Migratory Fish Stocks in the Western and Central Pacific Ocean. Scientific Committee, Sixth Regular Session, Nuku'alofa, Tonga, 10-19 August 2010. 168pp.

Hoyle, S., Kleiber, P., Davies, N., Harley., S. and Hampton, J.(2010): Stock assessment of skipjack tuna in the western and central Pacific Ocean. WCPFC-SC6-2010 Information Paper SA-WP-10 : 119pp.

Kiyofuji, H., Uosaki, K., Ogura M. and Langley, A.(2010): Stardardized CPUE for skipjack caught by Japanese offshore pole and line fishery in the northern region of western and central Pacific Ocean. WCPFC-SC6-2010 working paper SA-WP-09: 13pp.

Langley, A., Uosaki, K., Hoyle, S., Shono, H. and Ogura, M.(2010): A standardized CPUE analysis of the Japanese distant-water skipjack pole-and-line fishery in the western and central Pacific Ocean (WCPO), 1972-2009. WCPFC-SC6-2010 working paper SA-WP-08: 90pp.

SPC-OFP(2010): Estimates of annual catches in the WCPFC Statistical Area. WCPFC-SC6-2010 Information Paper ST IP-1: 27pp.

Uosaki, K., Kiyofuji, H., Hashimoto, Y., Okamoto S. and Ogura M.(2010): Recent status of Japanese skipjack fishery in the vicinity of Japan. WCPFC-SC6-2010 working paper SA-WP-07: 10pp.

Williams, P. and Terawasi, P.(2010): Overview of Tuna Fisheries in the western and central Pacific Ocean, including economic conditions-2009. WCPFC-SC6-2010 working paper GN-WP-1: 46pp.


## Ⅲ．カツオの成長・成熟


かつお･まぐろ資源部かつお･びんなが研究室　芦　田　拡　士




― カツオは1年で44cmに成長し、周年産卵する ―

### はじめに

今夏に三陸沖でカツオ漁船に乗船する機会を得た。その際、船頭に「2.5kg位のカツオは何歳なのか？」、「80cm位のカツオを漁獲することがあるが、あれは別種か？」、「カツオの産卵場はどこなのか？」など、成長や産卵といった基本的情報について質問された。それらの質問に答えながら、情報の発信の重要性を深く意識する一幕であった。

カツオにおける成長や産卵生態研究、仔稚魚における生態研究（初期生活史）は筆者の知る限りでは1920年代における仔魚の採集をきっかけに始まり、何度かカツオに関する総説が執筆されてきた（Jones and Silas 1963, Forsberg 1980, Matsumoto *et al.* 1984, Wild and Hampton 1994）。特にMatsumoto *et al.*（1984）は過去におけるカツオの生物学的研究をそれぞれの項目ごとに詳細に纏め、カツオの生物学における基礎的な知見の収集・確立に大きく貢献した。それ以降も、1990年代後半から今日に至るまでに、主に成長・産卵・初期生活史の分野において研究の進展が見られた。本稿では、中西部太平洋における「成長」「産卵」を中心に研究の歴史と最新の知見を紹介する。

### 中西部太平洋におけるカツオの年齢

年齢や成長を明らかにすることは、対象とする種の

寿命や年齢といった生物学的知見を充実させるだけでなく、資源評価などにおいて漁獲物や資源の年齢構成を推定するための重要な知見を供する研究である。年齢を推定する方法としては、体長組成を用いる方法（体長組成法）、標識放流結果を用いる方法（標識放流法）、鱗や脊椎骨、耳石、鰭棘等の年齢形質を用いた方法（年齢形質法）が代表的な例として知られている。現在、中西部太平洋のカツオの年齢は耳石を用いた研究が最も新しく、１歳で44cm FL（FL, 尾叉長）、２歳で62cm FLになると推定されている（Tanabe *et al.* 2003b）。本項では過去のカツオにおける年齢査定結果についてレビューを行い、中西部熱帯太平洋におけるカツオの成長をまとめた。

体長組成法や標識放流法による年齢査定法は、漁獲加入時や放流時の年齢を直接推定できず、これらの年齢を他の研究に依存する点で、相対年齢や相対成長しか得られない。カツオでは体長組成法による年齢査定が古くから多く行われてきたが（川崎1965, Yao 1981, 田中 1989）、想定された１歳時の尾叉長は15-42cm FLと研究によって大きく異なっている。

年齢形質法は鱗や脊椎骨、鰭棘、聴覚や平衡感覚を司る内耳に存在する耳石において形成される輪紋を計数することによって、年齢を推定する方法である。本手法では「輪紋がある一定の周期性を有して形成される」ことが条件であり、輪紋が年齢査定の形質として妥当かを検証する必要がある。カツオではこれまでに脊椎骨、背鰭棘、耳石を用いた年齢査定が行われてきた。

相川（1937）、相川・加藤（1938）は脊椎骨椎体の内面に形成される同心円状の輪紋を年輪と仮定して年齢査定を行ったが、Chi and Young（1973）はカツオの脊椎骨椎体の内面には１年に２本の輪紋が形成されることを報告した。大西洋のカツオでは背鰭第一棘の横断面に形成される輪紋が年輪であることが示され、年齢を推定した（Batts 1972, Chur and Zharov 1983）。しかし、Antoine *et al.*（1983）はこの輪紋が１年に２本形成されることを明らかにし、Batts（1972）やChur and Zharov（1983）と異なった見解を示すと共に、50cm FL以上の個体では横断面の中心部において硬組織が血管に置き換わるため、輪紋が不明瞭になると報告している。これらの事から、カツオでは脊椎骨や背鰭棘に形成される輪紋による年齢査定は信頼性に欠けると結論づけられる。

耳石に形成される輪紋構造数を計数して行う年齢査定は現在、魚類の年齢査定において最も広く用いられている方法であり、近年ではマグロ属でも同様の手法で年齢査定が行われている。カツオではUchiyama and Struhsaker（1981）が成魚の耳石に形成される輪紋が１日に１本形成される日周輪（日輪）である可能性を飼育実験により示し、これに基づき耳石に輪紋数を計数して年齢を推定した。しかし、日輪の証明実験に用いた供試個体の少なさから再実験の必要性を報告しており、この時点での日輪の証明は完全ではなかった。

Wild and Foreman（1980）、Wild *et al.*（1995）は日輪の証明のための実験として東部太平洋においてキハダ・カツオに蛍光色素（テトラサイクリン：TC）を筋肉注射して、耳石にマーキングを施し、標識を装着して放流した。そして再捕された個体から耳石を取り出し、TC蛍光帯から縁辺までの輪紋数と放流日数を比較して輪紋が日輪であるかを検証した。その結果、カツオでは輪紋数が放流後の経過日数よりも少ないことが明らかになり耳石に出来る輪紋が日輪でないことを示唆した。その後、Kayama *et al.*（2007）、嘉山（2006）は飼育下においてカツオに蛍光色素（オキシテトラサイクリン：OTC）を注射し、OTC注射後の飼育日数とOTC蛍光帯から縁辺域までの輪紋数に有意な差は無く、輪紋が日輪であることを証明した。前述の標識魚による結果と異なったことについて、蛍光色素の沈着した耳石の取り扱いと標本作製時の手法上による問題に起因すると指摘している。なお、標識魚による実験でも、キハダやビンナガでは輪紋が日輪であることが証明されている（Laurs *et al.* 1985, Wild and Foreman 1980, Wild *et al.* 1995）。カツオ仔稚魚では耳石に形成される輪紋が１日１本形成される日輪であることが時間帯別の耳石縁辺部の成長観察から証明され（Radtke 1983, Tanabe *et al.* 2003a）、嘉山（2006）はこの知見を基に仔魚期から幼魚期における初期成長が明らかにし、３ヶ月で約20cmに成長することを示した（図１）。

また、カツオの耳石輪紋は仔魚から成魚において日輪であることが証明されたことにより、耳石日輪を用

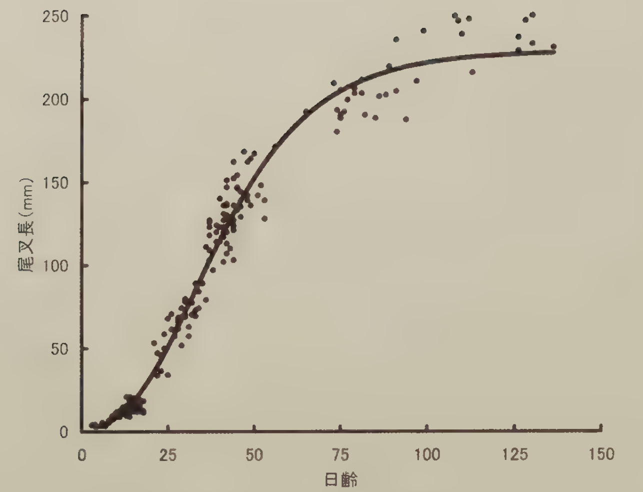



図1．耳石日輪を用いて推定された仔魚期から幼魚期におけるカツオの成長。（曲線はGompertz式をあてはめたもの．嘉山2006を引用）

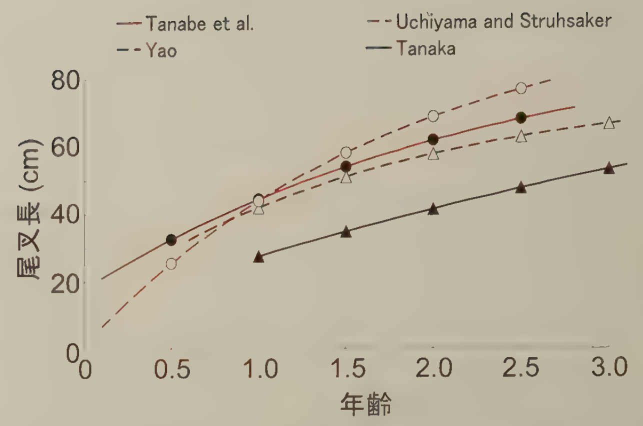



図2．これまでに推定された手法別における中西部太平洋におけるカツオの成長式（Von Bertalanffy）の比較。（Yao 1981，田中 1989は体長組成法、Tanabe *et al.* 2003b, Uchiyama and Struhsaker 1981は耳石の日周輪を用いて推定）

いて年齢査定を行うことが可能となった。Tanabe *et al.*（2003b）はこれを踏まえて、18–71cm FLの個体を用いて、日齢査定を行い、中西部太平洋のカツオは１歳で44cm FL、２歳で62cm FLになると推定した。この結果はUchiyama and Struhsaker（1981）が耳石の輪紋を日輪として推定した成長式に類似している（図２）。

## 中西部太平洋におけるカツオの産卵生態

成熟・産卵に代表される産卵生態研究は、「種が如何にして子孫を後世に残してくのか？」を明らかにする一端を担っており、資源研究では「基礎的知見の確立」の点において重要性の高い研究である。また、資源解析や管理を行う上での基礎的知見として用いられる。現在、中西部太平洋におけるカツオの産卵生態研究は熱帯域を中心として展開され、仔稚魚の分布や親魚の成熟状態から、熱帯域では産卵が周年行われていることが明らかになった（上柳 1969、西川ら1984、芦田ら2007、2008、Ashida *et al.* 2010）。更に、組織学的手法によって産卵生態に関する情報が充実しつつある。本項目では始めに、個体の成熟状態を評価する成熟度の変遷についてレビューを行い、成熟体長、産卵時刻、産卵数、産卵期といった代表的な産卵生態の知見の変遷について解説する。

これまでにカツオの産卵生態研究において用いられてきた成熟度は手法別に大別すると、(1)生殖腺の色や形態的観察、(2)卵母細胞径や組成変化、(3)生殖腺重量をもとに算出される指数（生殖腺指数：GI）の変化、(4)組織学的手法に区分される。これらのうち（1)から（3)の手法に関しては、個体の成熟過程を表すのに必ずしも十分な科学的根拠がなく、個体の成熟度を判定する際に曖昧さを生じる可能性がある。組織学的手法は硬骨魚類の産卵生態研究において一般的に用いられる手法であり、組織切片を作製し、光学顕微鏡で観察することで雌雄における生殖細胞の発達段階や排卵を証明する構造物（排卵後濾胞）を直接特定することができ、成熟過程を正確かつ詳細に表現することが出来る（図３）。カツオでは浅野・田中（1971）が初めて卵母細胞の発達段階を記載し、Hunter *et al.*（1986）が排卵後濾胞、卵母細胞の退行過程である閉鎖濾胞の組織学的特徴を記載した。芦田ら（2007）はこれらの知見とカタクチイワシの１種（Northern anchovy）、キハダの研究に基づいて卵巣の成熟度を５段階に定義した。雄に関しても組織学的手法に基づいて成熟度が定義されている（Ashida *et al.* 2010）。

Matsumoto *et al.*（1984）はそれまでの研究によって得られた知見を総合して、太平洋におけるカツオ雌の成熟開始体長を40cm FLと推定した。芦田ら(2007)は組織学的手法を用いることで、中西部熱帯太平洋における成熟開始体長（年齢）が40cm FL（0.8歳に相当）であることを明確にし、成熟率が50％に達する体長である半数成熟体長 が47.9cm FL（1.2歳に相当）であることを明らかにした。雄ではAshida *et al.*（2010）が組織学的手法により成熟開始体長（年齢）を35.5cm（0.6

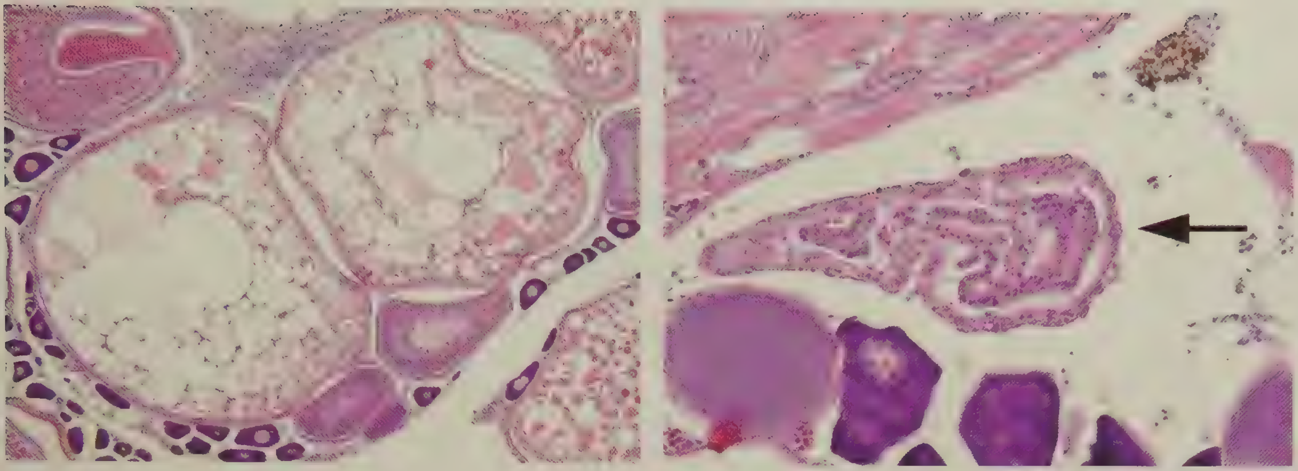


図3．組織学的手法によって観察されたカツオの排卵直前の卵母細胞（左）、排卵後に卵巣内に残る排卵後濾胞（右）。

歳に相当）、半数成熟体長を40.5cm FL（0.8歳に相当）と報告し（図4）、カツオは雄が雌よりも小型で成熟することが明らかになった。

産卵時刻は大別すると日中説（Iversen *et al.* 1970, Matsumoto *et al.* 1984）と夕方から夜間説（Kaya *et al.* 1982, Hunter *et al.* 1986）の2説がこれまで存在した。前者は漁業者などの繁殖行動の目撃談に、後者は組織学的手法や飼育下での知見に基づくものである。芦田ら（2007）は採集時間帯別に成熟度の推移と排卵後濾胞の退行過程を観察し、産卵直前の状態にある個体が15時以降にのみ出現し、夕方にかけてその出現率が増加することから夕方から夜間に産卵が行われると結論付けた。

カツオは1産卵期に複数回にわたって産卵をする多回性産卵魚であり（Yoshida 1966, Būnag 1956, Matsumoto *et al.* 1984）、1回に産む産卵量（バッチ産卵数）が求められてきた（Joseph 1963, Yoshida 1966）。これらの研究ではバッチ産卵数は11–200万粒と推定されているが、推定に用いた個体が産卵個体であったのかが検証されておらず、信頼性に欠けるものであった。芦田ら（2008）は組織学的手法から産卵直前の個体を特定し、バッチ産卵数を42–70.8cm FLの個体で7.6–137万粒と推定した。

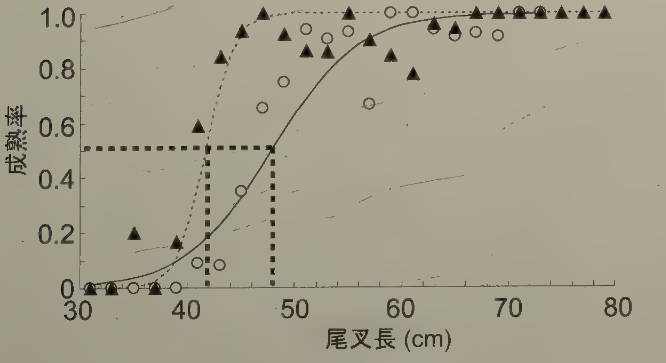



図4．中西部熱帯太平洋における雌雄別の尾叉長別成熟率。（▲，雄；○，雌，芦田 2007，Ashida *et al.* 2010を改変）

産卵期は仔稚魚の分布によって推定されることが多く、表面水温24℃以上の海域において熱帯域では周年、高緯度海域ほど産卵期が夏季を中心として短くなると推定されてきた（上柳1969、西川ら1985、Matsumoto *et al.* 1958、Matusmoto *et al.* 1984）。また、日本近海では4－6月および7－9月期に南西諸島や伊豆諸島海域において仔魚が採集されている（西川ら 1985）。一方で、親魚の成熟状態から推定された産卵期は、仔稚魚による推定結果とは異なり、産卵盛期はフィリピン沖で夏季を中心（Wade 1950）、マーケサス諸島周辺で冬季中心（Yoshida 1966）、マリアナ諸島付近で夏季と冬季中心（浅野・田中 1971）のように知見が散乱していた。さらに、永沼（1979）は、4月～9月は35° N–15° S、10月～3月には22° N–24° Sの水域で高いGI（生殖腺指数）を有する個体が出現することから、海域・季節特性を持った産卵が行われると推定した。これらの親魚の知見が仔稚魚から推定された産卵期と一致しない理由は、個々の研究の調査海域が非常に限定的であることや、排卵後濾胞の有無（卵巣内の排卵を直接的に証明するもの）を観察せずに産卵個体を推定していることに由来する。芦田ら（2007）は中西部熱帯太平洋において組織学的手法によって産卵個体を直接特定し、同海域において周年にわたって産卵が行われていることを明らかにした。これらのこと

から、中西部熱帯太平洋では仔稚魚および親魚から推定された産卵期の知見が一致し、熱帯域では産卵期が周年と考えられるようになった。また、日本周辺を含む亜熱帯から温帯域におけるカツオの産卵活動については、夏季に和歌山県の串本沖において産卵個体が確認されているが（芦田ら 2010）、それ以外の知見は乏しく、今後の検討課題である。

## おわりに

カツオのような分布域が非常に広く、大規模な回遊を行う種の生物学的研究は、標本の収集から解析に至るまでに様々な困難が存在し、明確な結果を出すのには多くの労力と時間を要する。研究対象として非常に扱いにくいカツオに果敢に挑み、弛まぬ努力によって蓄積された多くの先人達に感謝の意を表する。

## 引用文献


Antoine L.M., Mendoza J.J. and Cayré P. (1983): Progress of age and growth assessment of Atlantic skipjack tuna, *Euthynnus pelamis*, from dorsal fin spines. In: Prince ED and Pulos LM (eds), Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfish, and sharks. NOAA Technical Report NMFS. 8: 91–97.

芦田拡士、田邉智唯、鈴木伸洋（2007）：卵巣の組織学的観察による中西部熱帯太平洋におけるカツオの成熟と産卵生態の推定．日本水産学会誌. 73: 437–442.

芦田拡士、田邉智唯、鈴木伸洋、福井　篤、田中　彰（2008）：中西部熱帯太平洋におけるカツオの産卵頻度とバッチ産卵数の推定．日本水産学会誌. 74: 802–808.

Ashida H., Tanabe T., Satoh K., Fukui A., Tanaka S., Suzuki N.(2010): Reproductive biology of male skpjack tuna *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus) in the tropical western and central Pacific Ocean. Fisheries Science. 76: 785–793.

芦田拡士、鈴木伸洋、田邉智唯、御所豊穂、竹内淳一（2010）：和歌山県串本周辺海域におけるカツオの産卵．平成22年度日本水産学会中部支部大会講演要旨集：14.

相川廣秋（1937）：カツヲ群の一考察．日本水産学会誌. 6: 13–21.

相川廣秋・加藤益夫（1938）：魚類の年齢査定（予報１）．日本水産学会誌．7: 79–88.

浅野政宏・田中　有（1971）：西部太平洋におけるカツオの成熟に関する研究–Ⅰ．東北区水産研究所研究報告. 31: 153–161.

Batts B. S.(1972): Age and growth of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, (Linnaeus), in North Carolina waters. Chesapeake Science. 13: 237–244.

Chur V.N. and Zharov V.L.(1983): Determination of age and growth rate of the skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* (Sombridae) from the southern part of the gulf of guinea. Journal of Ichthyology. 23: 53–67.

Buñag D.M.(1956): Spawning habits of some philippine tuna based on diameter measurements of the ovarian ova. The Philippine Journal of Fisheries. 4: 145–177.

Chi K.S. and Yan R.T.(1973): Age and growth of skipjack tuna in the water around the southern part of Taiwan. Acta Oceanogrphica Taiwanica. 3: 199–222.

Forsberg E.D.(1980): Synopsis of biological data on the skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus 1758), in the Pacific ocean. In: Bayliff WH (ed). Synopsis of biological data on eight spices of scombrids. Inter-American Tropical Tuna Commission Special Report. 2: 301–355.

Hunter J.R., Macewicz B.J. and Sibert J.R.(1986): The spawing frequency of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, from the south Pacific. Fishery Bulletin. 84: 895–903.

Iversen R.T.B., Nakamura E.L. and Gooding R.M. (1970): Courting behavior in skipjack tuna, *Katsuwonus Pelamis*. Transaction of American Fisheries Society. 99: 93.

Jones S. and Silas E.G.(1963): Synopsis of biological data on skipjack *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus)

1758 (Pacific Ocean). FAO Fisheries Biology Synopsis. 65: 695–748.

Joseph J.(1963): Fecundity of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) form the eastern Pacific Ocean. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin. 7: 255–292.

Kaya C.M., Dizon A.E., Hendrix S.D., Kazama T.K. and Queenth M.K.K. (1982): Rapid and spontaneous maturation, ovulation, and spawning of ova by newly captured skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*. Fishery Bulletin. 80: 393–396.

嘉山定晃（2006）：西部太平洋におけるカツオ当歳魚の成長と回遊生態に関する研究．博士論文、東京大学．130pp.

Kayama S., Tanabe T., Ogura M., Okuhara M., Tanaka S. and Watanabe Y.(2007): Validation of daily ring formation in sagittal otoliths of late juvenile skipjack tuna *Katsuwonus pelamis*. Fisheries Science. 73: 958–960.

川崎　健（1965）：カツオの生態と資源Ｉ．水産研究叢書. 8-1 日本水産資源保護協会: 48pp.

Laurs R.M., Nishimoto R. and Wetherall J.A.(1985): Frequency of Increment Formation on Sagittae of North Pacific Albacore (*Thunnus alalunga*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 42: 1552–1555.

Matsumoto W.M.(1958): Description and distribution of larvae of four species of tuna in central Pacific Ocean. Fishery Bulletin. 58: 31–72.

Matsumoto W.M., Skillman R.A. and Dizon A.E.(1984): Synopsis of biological data on skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*. NOAA Technical Report of National Marine Fisheries Service Circular. 451: 1–92.

永沼　璋（1979）：西部太平洋におけるカツオの産卵活動について．東北区水産研究所研究報告. 40: 1–13.

西川康夫、西川康夫、本間　操、上柳昭治、木川昭二（1985）：遠洋性サバ型魚類稚仔の平均分布、1956～1981年．水産庁遠洋水産研究所浮魚資源部．S series. 12: 1–99.

Radtke(1983): Otolish formation and increment deposition in laboratory-reared skipjack tuna, *Euthynnus pelamis*, larvae. In: Prince ED and Pulos L.M. (eds), Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfish, and sharks. NOAA Technical Report NMFS. 8: 99–103.

Tanabe T., Kayama S., Ogura M. and Tanaka S.(2003a): Daily increment formation in otoliths of juvenile skipjack tuna *Katsuwonus pelamis*. Fisheries Science. 69: 731–737.

Tanabe T., Kayama S., and Ogura M.(2003b): Precise age determination of young to adult skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) with validation of otolith daily increment. 16th Meeting of Sanding Committee on Tuna and Billfish Working Paper. SKJ–8: 1–10.

田中　有（1989）：南方海域における海外まき網漁業の漁獲量とカツオ(*Katsuwonus pelamis* Linnaeus)の年齢組成の経年変化．東北区水産研究所研究報告. 51: 89–106.

Uchiyama J.H. and Struhsaker P.(1981): Age and growth of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, and yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, as indicated by daily growth increment of sagittae. Fishery Bulletin. 79: 151–162.

上柳昭治（1969）：インド・太平洋におけるマグロ類仔魚の分布-ビンナガ産卵域の推定を中心とした検討-．遠洋水産研究所研究報告. 2: 177–256.

Wade C.B.(1950): Observation on the spawning of Philippine tuna. Fishery Bulletin. 51: 409–423.

Wild A. and Foreman T.J.(1980): The relationship between otolith increments and time for yellowfin and skipjack tuna marked with tetracycline. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin. 17: 507–560.

Wild A., Wexler J.B. and Foreman T.J.(1995): Extended studies of increment deposition rates

in otoliths of yellowfin and skipjack tunas. Bulletin of Marine Science. 57: 555–562.

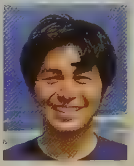
Wild A. and Hampton J.(1994): A review of the biology and fisheries for skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Pacific ocean. In: Shomura R.S., Majokowski J., Langi S. (eds). Interaction of pacific tuna fisheries -volume 2- Paper on biology and fisheries. FAO Fisheries Technical Paper. 336/2: 1–51.

Yao M.(1981): Growth of skipjack tuna in the western Pacific Ocean. Bulletin of Tohoku Regional Fisheries Research laboratory. 43: 73–82.

Yoshida H.O.(1965): Skipjack tuna spawning in the Marquesas islands and Tuamotu archipelago. Fishery Bulletin. 65: 479–488.

# Ⅳ．カツオの系群構造研究

西海区水産研究所　石垣支所　漁業資源研究室　鈴　木　伸　明



―　系群構造に関しては、現段階で確固たる結論は無い　―

本種の系群構造推定に関する研究を俯瞰すると、大きく２つの段階に分けられる。まず、1960年代から1980年代にかけて藤野（米国魚類野生生物局ならびに北里大学水産学部）らを中心に精力的に行われたカツオの血液型分析および血清タンパク（アロザイム）多型解析が第１段階として挙げられる。Fujino and Kazama（1968）を皮切りに、膨大なサンプルと当時最新の生化学的分析、および綿密な集団遺伝学的統計解析を組み合わせた一連の業績は他の水産資源生物を見渡しても類例がなく、彼らを中心に世界のカツオ系群研究が展開された。Fujino and Kang（1968）は、血清エステラーゼ遺伝子頻度の違いに基づいて大西洋および太平洋サンプル間ならびに東部（バハ・カリフォルニア）、中部（ハワイ）および西部（日本-パラオ）太平洋のサンプル間に初めて有意差を見出した。Fujino *et al.*（1981）に至っては、500サンプル、24,000個体にものぼるサンプルを元に、大西洋およびインド洋集団の特異性を確かめるとともに、太平洋内

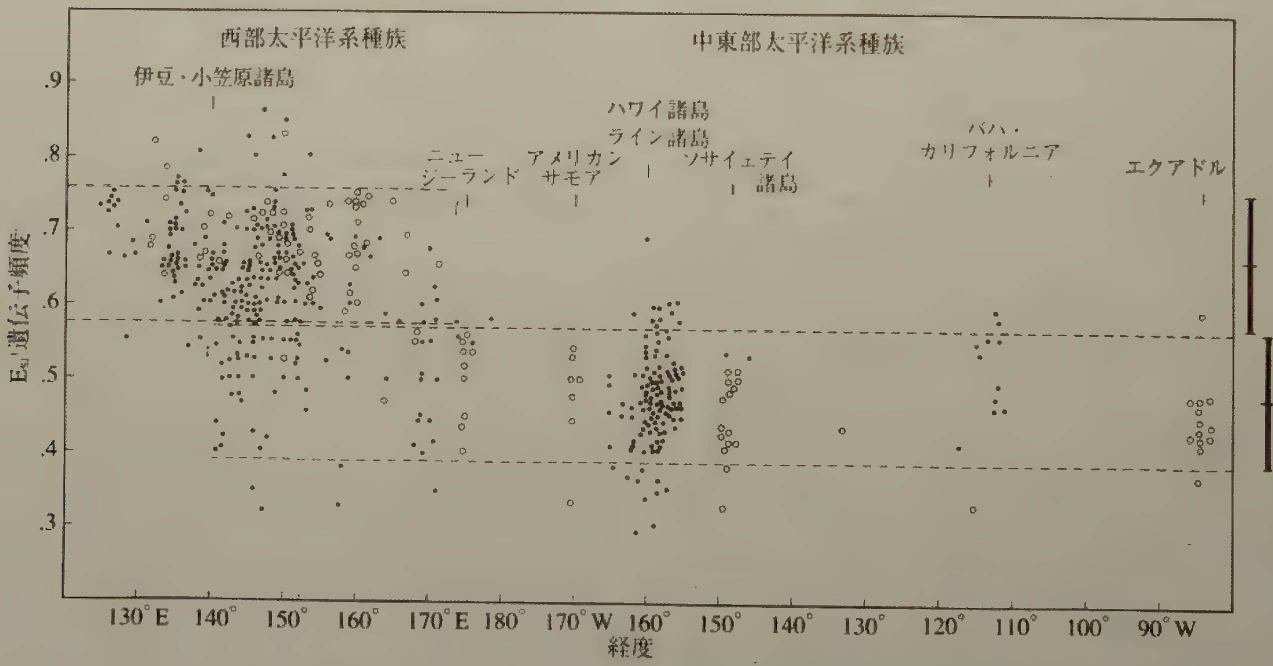



図１．太平洋産カツオ集団における$E_{SJ}^{1}$遺伝子頻度分布の顕著な地域差（藤野1999より）。

において130〜170°Eの間で経度に沿ってエステラーゼ$E_{SJ}$1遺伝子頻度が低下することを示した（図１）。加えて、南半球からのサンプル（図１中の○印）の遺伝子頻度が東経160°から170°の間で明瞭に異なることを根拠に、著者らは、この経度に沿った変異を図中破線により識別可能な異なる遺伝子頻度を持つ２系群により形成された「段階的な構造」であると解釈した。そしてそれぞれ西部太平洋系群および中・東部太平洋系群と呼んで、Anonymous（1980, 1981）が提唱したような「クライン」ではないと結論づけている。「クライン」とは、一般的には「ある地理的横断線に沿って形態や生理・生態的特性などが方向性を持ち、かつ連続的に変化する（主に種内の）地理的変異」と定義されており（日本生態学会他編、「生態学事典」より抜粋）、局所的なクラインとしては分化した２集団の二次的接触とそれに続く交雑や、分断化淘汰圧の元での距離による隔離などが想定されている。ただし現実の生物に見出される連続的変異が遺伝的に独立かつ離散的な特徴を持つ複数集団に起因するのか、それとも遺伝的隔離を伴わない純粋に連続的な集団内変異であるのかを確かめることは非常に難しく、太平洋産カツオに見られる東西方向の変異が実際の所どういった生物現象の帰結であるのかを確定するには更なる検証が必要である。

またFujino（1996a, b）においては、蓄積された膨大なデータを再検討しつつ自身の見解をさらに押し進め、中・東部太平洋系群を中・西部太平洋（ハワイ近海以西）、中・北東部太平洋（ハワイ近海〜北米西岸）および中・南東部太平洋（ハワイ近海〜南米西岸）の３系群に分離することを提唱した。これらの論文では、集団遺伝学的というよりむしろ資源生物学的な意味での群集構造が議論されており、前述の経度に沿った変異と同様、その集団遺伝学的実態は検討の余地がある。以上、藤野らによる一連の研究を簡単にまとめてみたが、この分野の発展の歴史については藤野個人の研究遍歴の叙述とともに自身の手によりまとめられている（藤野 1999）。

続く第２段階は1980年代以降現在まで続いており、端的にDNA分析の時代と言い表せる。従来の血液型分析およびアロザイム多型解析が生化学的な活性を利用した生理的“表現型”の解析であり、その変異から背後にある遺伝的変異を推定する方法であるのに対し、DNA分析法はDNA分子上の塩基配列に生じた塩基置換、すなわち突然変異を制限酵素処理や塩基配列決定により直接検出する。カツオの系群判別を目的に初めてDNA分析を行ったのはGraves *et al.*（1984）である。彼らはミトコンドリアDNA（mtDNA）を制限酵素により消化し、その消化パターンを太平洋（n= 9）と大西洋（n= 8）のサンプル間で比較した。その結果、実験上の困難から分析個体数が少ないという課題はあるものの、アロザイム分析の結果に反して大洋間で明瞭な差異は認められなかった。

DNA分析の普及発展に伴い実験上の困難が克服された後、鈴木ら（2004）、Ely *et al.*（2005）により多検体を用いた網羅的な塩基配列解析が行われた。鈴木ら（2004）は太平洋３海域（西部熱帯域、奄美諸島周辺海域および東部亜熱帯域）から収集したサンプルに東部インド洋産サンプルを加えた16サンプル、計488個体から粗DNAを抽出し、PCR法を用いてmtDNA調節領域の一部を増幅した後、直接塩基配列を決定した。そうして得られた塩基配列データを系統学的・集団遺伝学的に解析した結果から、著者らはカツオの種内遺伝的多様性は近縁のマグロ属魚類と比べて高いこと、太平洋海域間ならびにインド洋－太平洋間に明瞭な差異は認められないことを報告した。同様にEly *et al.*（2005）は、東部太平洋（n=32）、ソロモン諸島（n=35）、北西大西洋（n=31）およびブラジル（n=17）の４サンプル、計115個体を用いて進化速度の異なるmtDNA上の２領域（調節領域ならびにシトクロームb遺伝子領域）の部分塩基配列を解析したが、いずれのサンプル間にも遺伝的差異は認められなかった。このようにmtDNAの部分塩基配列を用いた解析からは広範囲にわたるカツオの遺伝的交流を示唆する見解が得られているが、同じくmtDNA調節領域の制限酵素切断パターンの変異を解析した結果は若干異なっている。Menezes *et al.*（2006）は、mtDNA調節領域の一部を６種の制限酵素により切断して得られた遺伝子型の頻度分布を日本産（n=44）およびインド産（n=21）サンプル間で比較し、統計的に有意な差異が認められることを報告した。このmtDNA分析の結果に見られる不一致の原因は今のところ明らかではないが、Menezes *et al.*（2006）で用いたDNAサンプルから解

析領域の塩基配列を決定して再検討することは今のところ考えうる有効な対処法であろう。一方、Menezes *et al.*（2008）は、核ゲノム上にあり高度多型性を示すマイクロサテライトマーカーを利用してインド西岸の２地点（n=49, 50）および日本（n=50）産のサンプルを分析し、サンプル全体には有意な遺伝的分化が認められないことを報告した。母系遺伝するmtDNAで差異が検出されたにも関わらず、核遺伝マーカーでは差異が認められなかったことに関して著者らは、雌の産卵場所への選好性、言い換えれば雄に偏った移動がmtDNAに特異的な遺伝的構造をもたらすのではないか、と考察している。

ここまでをまとめると、カツオの系群構造、とくに遺伝的に隔離された分集団の存在に関して、現段階で確固たる結論が得られているとは言い切れない。これまでの広範な調査研究の結果を十分に吟味した上でさらなる生物学的研究が求められるが、一方で、近年では高度回遊性魚類を対象に核DNAマーカーを用いた大規模解析も十分可能な状況となっている（野原ら 2010）。大洋間の遺伝的交流の有無・程度を確かめるとともに、太平洋に見られるアロザイム遺伝子頻度の東西変異が異集団の存在によるものか、適応に起因するクラインによるものかという難問に答えを出すためにもこのような研究の展開に期待したい。

## 引用文献


Fujino, K and Kazama, T.K. (1968): The Y system of skipjack tuna blood groups. Vox Sanguinis. 14: 383-395.

Fujino, K and Kang, T. (1968): Serum esterase groups of Pacific and Atlantic tunas. Copeia. 1968: 56-63.

Fujino, K., Sasaki, K and Okumura, S. (1981): Genetic diversity of skipjack tuna in the Atlantic, Indian and Pacific Oceans. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 47: 215-222.

Anonymous. (1980): Review of preliminary results from genetic analysis of skipjack blood samples collected by the Skipjack Survey and Assessment Programme. South Pacific Commission, Noumea. Skipjack Survey and Assessment programme, Technical Report No. 1: 22pp.

Anonymous. (1981): Report of the second Skipjack Survey and Assessment Programme Workshop to review results from genetic analysis of skipjack blood samples. South Pacific Commission, Noumea. Skipjack Survey and Assessment programme, Technical Report No. 6: 39pp.

藤野和雄.（1999）:「海洋生物の集団遺伝学的研究 –国際漁業の新秩序確立に向けて-」恒星社厚生閣, 東京: 117 pp.

Fujino, K. (1996a): Genetically distinct skipjack tuna subpopulations appeared in the central and the western Pacific Ocean. Fisheries Science. 62: 189-195.

Fujino, K. (1996b): Ecological characteristics of skipjack tuna schools associated with subpopulation distinction in the western Pacific Ocean. Fisheries Science. 62: 866-869.

Graves, JE, Ferris, SD and Dizon, AE. (1984): Close genetic similarity of Atlantic and Pacific skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) demonstrated with restriction endonuclease analysis of mitochondrial DNA. Marine Biology. 79: 315-319.

鈴木伸明・田邊智唯・張　成年・小倉未基.（2004）: ミトコンドリアDNA塩基配列データからみた太平洋カツオの遺伝的集団構造. 2004年度日本魚類学会年会講演要旨集: p. 103.

Ely, B., Viñas, J., Alvarado Bremer, J.R., Black, D., Lucas, L., Covello, K., Labrie, A.V. and Thelen, E. (2005): Consequences of the historical demography on the global population structure of two highly migratory cosmopolitan marine fishes: the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). BMC Evolutionary Biology. 5: 19.

Menezes, M.R., Ikeda, M and Taniguchi, N. (2006): Genetic variation in skipjack tuna *Katsuwonus*

*pelamis* (L.) using PCR-RFLP analysis of the mitochondrial DNA D-loop region. J. Fish Biol. 48 (Suppl. A): 156-161.

Menezes, M.R., Noguchi, D, Nakajima, M and Taniguchi, N. (2008): Microsatellite development and survey of genetic variation in skipjack tuna *Katsuwonus pelamis*. J. Fish Biol. 73: 463-473.

野原健司・鈴木伸明・張　成年・仙波靖子・岡本浩明.（2010）：大西洋とインド-太平洋メバチ集団間の遺伝的隔離. 平成22年度日本水産学会春季大会講演要旨集: p.77.

# Ⅴ. カツオの分布・回遊

かつお·まぐろ資源部かつお・びんなが研究室　清　藤　秀　理



— 日本近海へのカツオ来遊起源・経路・メカニズムを明確にする必要 —

## はじめに

古くから漁業を通じてわれわれ日本人はカツオに関する知識を蓄え、カツオは季節の移り変わりとともに黒潮沿いに出現すること、カツオが流木などの浮遊物や鯨・ジンベイザメのような大型動物とともに行動することなどが知られてきた。戦後、漁業の熱帯域への本格的拡大により、本種の分布の中心である熱帯域における知見も充実し、各国に利用される国際資源としての重要性が増してきている。

移動・回遊を細かく分類すると、水平移動と鉛直移動とに区別される。水平移動を把握するための方法は、魚に「標識」を取り付けて放流し、ある漁業によって再捕されるのを待つ「標識放流法」が一般的である。最近では水平移動に加えて、鉛直移動を把握するために遊泳水深や遊泳水温環境を把握できるデータロガーや電子標識（アーカイバルタグ）を取り付ける手法がある。本稿では、中西部太平洋における分布の概要と日本近海への来遊等についてまとめ、カツオ資源利用における日本近海と熱帯域の漁場の位置づけを考える基礎知見としたい。

## 分布の概要

太平洋におけるカツオの分布域は適水温帯の分布にあわせて西側で南北に広く東側では狭くなる（Matsumoto *et al.* 1984)。一般に大型魚ほど南北方向に分布範囲が狭くなり、熱帯水域のみに分布する傾向があり、若齢ほど分布の南北範囲が広い。したがって、熱帯水域には仔稚魚から60cm以上の魚まですべてのサイズが分布しているが、分布の縁辺部である温帯域では主に１歳魚の摂餌回遊群が季節的に分布する。本種は大洋の沖合域に広く分布・回遊し、標識放流からは西部太平洋と中部太平洋の交流および東部太平洋から中部太平洋への移動が確認されており、フィリピン群島付近も中西部太平洋の魚群の移動範囲に含まれる。また、熱帯域におけるカツオ漁場は、ENSO（El-Niño and Southern Oscillation，エルニーニョ・南方振動）に伴う西部太平洋の暖水域の東西分布変動に強く影響されていることが明らかになっている（Lehodey *et al.* 1997）。

## 日本近海への来遊

分布の中心から日本周辺への移動について、安井・森(1985)は、標識放流結果に基づき、熱帯域と中南海域における小型カツオ（2.0kg以下）の移動について検討した。放流から５ヶ月以上１年以内の再捕を見ると、北上期に限れば、熱帯域（赤道～北緯10度）で放流された個体が日本近海で再捕される割合は、中南海域で放流された個体よりも低い傾向にあり（図１、図２）、低緯度に分布する小型カツオは北赤道海流を越えて北上せず、日本近海へ来遊するカツオとは直接の関連は少ないことを示唆した。これまでの標識放流調査では30cm台の小型カツオの放流尾数がそれほど多くないなど未だ限定的な検討であり、日本近海に来遊するカツオの来遊起源については標識以外の研究や多角的な知見の整理も含めてアプローチしていく必要がある。例えば、ほぼ北緯10度で区分される赤道反流域以

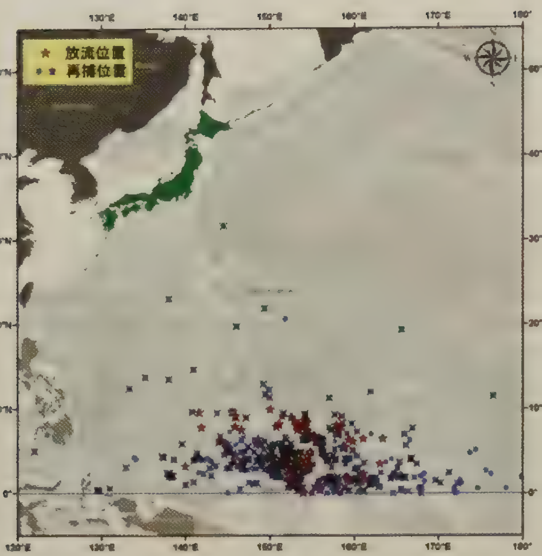



図１．1988年～2007年1月～2月に熱帯域（0°～10° N）で放流され、5ヶ月未満（青丸と×）と5ヶ月以上１年以内（青丸）に再捕された位置（放流個体数：708、１年以内の再捕個体数：595、5ヶ月未満の再捕個体数：539）。

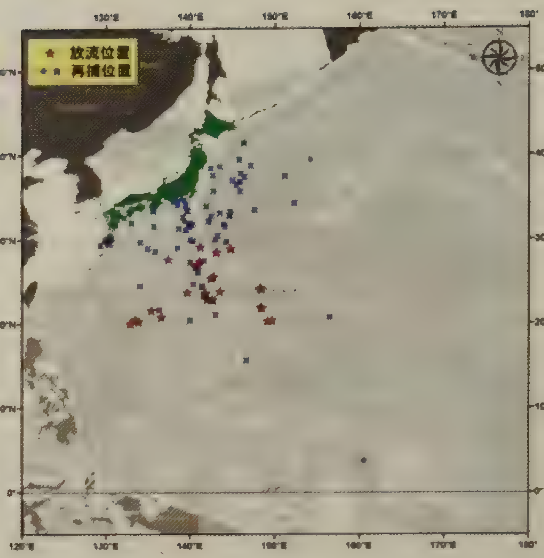



図２．1988年～2007年３月～４月に中緯度（20°～30° N）で放流され、5ヶ月未満（青丸と×）と5ヶ月以上１年以内（青丸）に再捕された位置（放流個体数：88、１年以内の再捕個体数：83、5ヶ月以内の再捕個体数：79）。

南と北赤道海流域の両海域で採集されたカツオ仔稚魚の耳石に見られる成長パターンに差があることが示されており（嘉山 2006）、成魚の発生海域を初期成長履歴で検討することが有効かもしれない。また、三陸沖で漁獲されたカツオの耳石に含まれる微量元素の分析結果から、異なる水温域を移動した履歴が検出され、三陸沖から熱帯域へと大規模回遊する個体の存在が示唆されている（Arai *et al.* 2005）。この研究は南下回遊について実証した例であるが、微量元素分析等も来遊群の起源研究に利用できるかもしれない。

次に日本近海への来遊経路についての知見を整理する。日本近海への来遊経路は、これまでの標識放流の結果を踏まえて概ね図３（浅野 1984、田代・内田 1989、川合 1991；改変）の様に一般的に考えられている。日本近海へは、主として尾叉長30cm台後半（１歳弱）以降の魚が北上来遊し、主要な北上ルートは、黒潮沿い（図３：ルート１）・紀南・伊豆諸島沿い（ルート２）・伊豆諸島東沖（ルート３）のルートがあり、三陸沖漁場では沖合から現れる魚群（ルート４）もある。標識放流魚の移動から天皇海山漁場まで含めた東沖からの来遊も示唆されている。これらの中で特に量的に重要なのは伊豆諸島沿い・伊豆諸島東沖ルートで、日本近海の主要漁場である常磐・三陸沖へと北上してくる。三陸沖への北上群は９月頃には41°N付近まで達した後、南下する（渡辺他 1995）ことが明らかとなっている。小笠原諸島から伊豆諸島を北上するルートでは、伊豆半島沖に西進する魚群と、５月以降に伊豆諸島東沖から来遊する魚群とともに房総沖から常磐・三陸沖へ北上する魚群が見られる。黒潮沿いのルートは、南西諸島から薩南海域に入り、一部は黒潮から分岐する対馬暖流沿いに九州西岸・五島付近に達するが、多くは薩南海域から四国沖・紀伊半島沖を通過し、遠州灘・伊豆諸島周辺に達する。さらに一部伊豆諸島周辺に達した後、常磐・三陸海域に北上する魚群も見られる。なお黒潮沿いルートは、「北上するカツオは黒潮に乗ってくる」等、主要な北上ルートのごとく表現されてきたが、以前から科学的な表現としての不適切さと観測事実に裏付けられていないとの指摘があった（川崎 1965a, 1965b、川合 1991）。

これまで描かれてきた中西部太平洋のカツオの分布・回遊は、Matsumoto *et al.*（1984）や田代・内田（1989）が示した熱帯から日本近海まで一本の矢印として示されてきた。現段階では来遊群の起源については熱帯域からの魚群の量的割合も含めて不明であるが、中南海域から日本近海へ北上する経路についてはある程度知見も示されており、図４に示すような回遊像を提示するのが現実的であると考えている。「カツオは黒潮に乗ってくる」との表現の意味するところには、

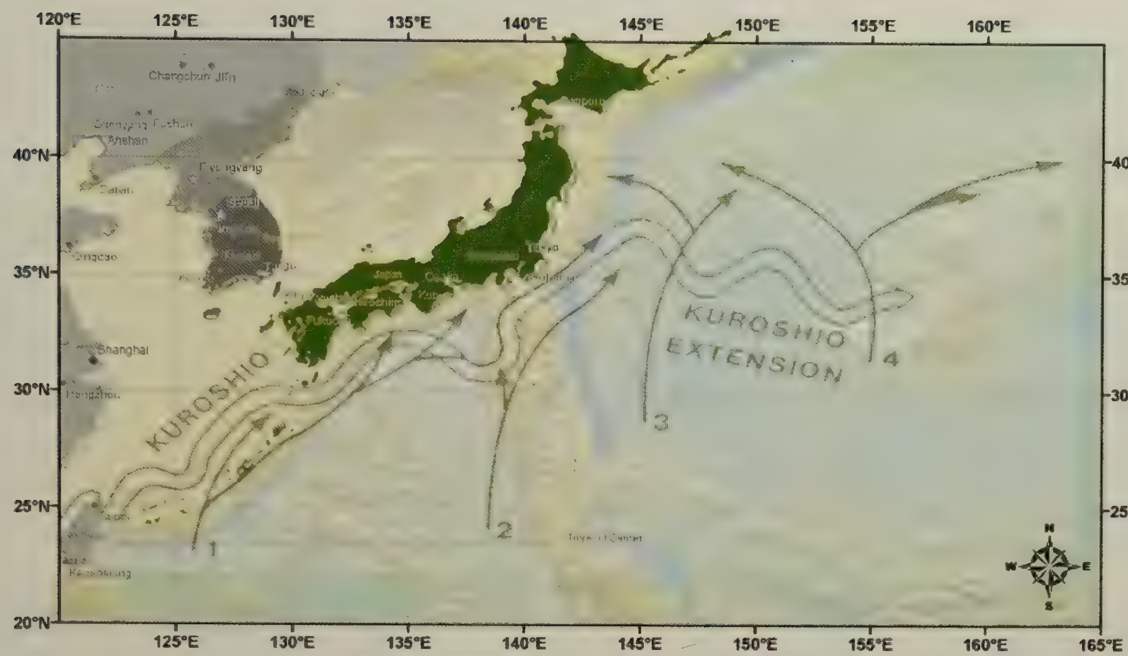



図３．推定カツオ北上経路と黒潮および黒潮続流（川合 1991;改編）。

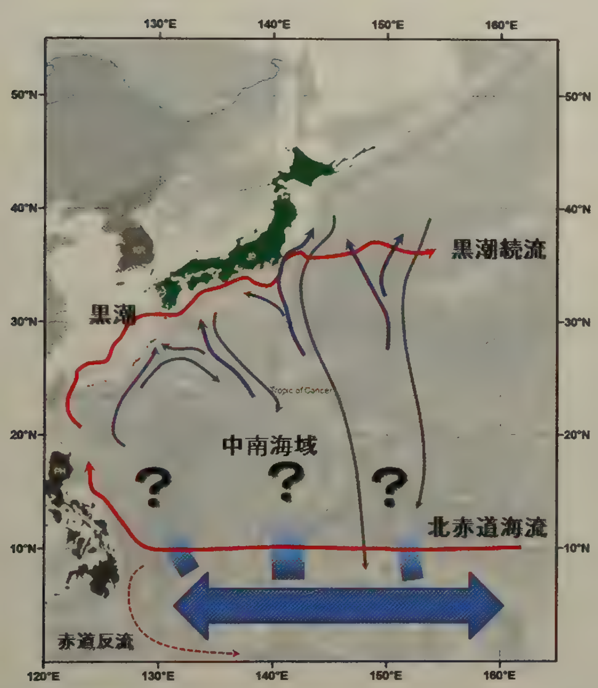



図４．熱帯域から日本近海にかけた新しいカツオ来遊想定図。（赤：主要海流、青：カツオ北上来遊経路、灰：南下海域経路）

季節を追って黒潮沿いに出現する群を連続的に地図上にプロットすることによって示されるような見かけ上の部分もあると思われる。南下回遊については、三陸沖から熱帯域へ南下する魚の存在は明らかであることから、移動方向として一本の矢印として表現することは可能であろう。なお、この図では日本の沿岸域での細かな移動経路は描いていない。

## 日本近海への来遊メカニズムの解明

日本近海へ来遊するカツオの来遊起源と経路を明らかにすることに加えて、日本周辺域の漁獲量変動要因を明らかにするためには回遊メカニズムを解明する必要がある。標識放流、アーカイバルタグ放流による回遊実態把握については前段に示したが、ここではモデル解析による回遊メカニズム解明へのアプローチについて紹介する。

熱帯域から日本周辺海域への移動を具体的に明らかにすることを目的とした海洋大循環モデルとカツオ遊泳モデルとを組み合わせたカツオ大回遊モデルでは、幼魚期のカツオは15° Nに南北の回遊境界が存在し、5° N付近に分布が集中すること、および160° Eの水深35m、および黒潮の水深85m付近で集中的に北上する傾向を示した（図５；伊藤他 1998）。また、西部太平洋（25° S－10° N）のカツオ標識再捕データを移動－拡散方程式に基づいた移動モデルに適用した結果、熱帯域（10 °S－5 °N）における移動は、東西方向の移動が顕著であることが示された（Sibert *et al.* 1999）。さらに現在では、生態系－環境－資源の関係を考慮した、空間生態系－資源動態モデル、SEAPODYM（<u>S</u>patial <u>E</u>cosystem and <u>PO</u>pulation <u>DY</u>namic <u>M</u>odel）によるアプローチが進行中である（Lehodey

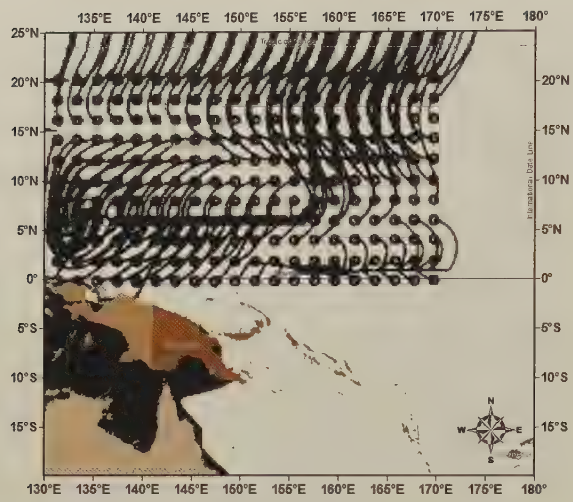


図5．カツオ大回遊モデルによって得られた水深35mのカツオ水平移動。丸印は開始点を示し、15° N付近に南北移動の境界域、5° N付近に分布が集中、160° E付近で集中的に北上する傾向が再現されている（伊藤他 1998改編）。

*et al.* 2008、清藤 2010）。SEAPODYMの特徴は、資源動態に影響する環境要因を取り入れ、齢別の資源の時空間分布を予測することである。熱帯域に限って言えば、前述のようにエルニーニョ・ラニーニャのような大規模な大気－海洋相互作用による水塊構造の東西変動がカツオ分布に影響し（Lehodey *et al.* 1997）、カツオの幼稚仔魚、成魚ともにエルニーニョ時には太平洋赤道域中心に分布が現れたのに対し、ラニーニャ時は分布が西へ偏在することが明らかとなった（図6；Senina *et al.* 2008）。このモデルは熱帯域を中心とした構造になっているため、日本周辺海域での再現性は良くないことは大きな課題であるが、日本周辺海域への来遊を考えると無視できない現象である。現在、大規模な大気－海洋相互作用の日本周辺海域への影響とよりマクロなスケールでのカツオ来遊への影響を分析・再現し、日本周辺海域へのカツオ来遊変動の予測も視野にメカニズム解明を進めている。

## 鉛直分布

カツオに取り付けた記録型電子標識の分析結果によると（小倉 2002）、夏季の常磐沖における北上群においては、カツオは一時的に深度250m近くまで潜り、夜は5m以浅の表層近くに滞在し、20m深程度まで遊泳している。昼間は夜間より深い水温躍層付近を中心

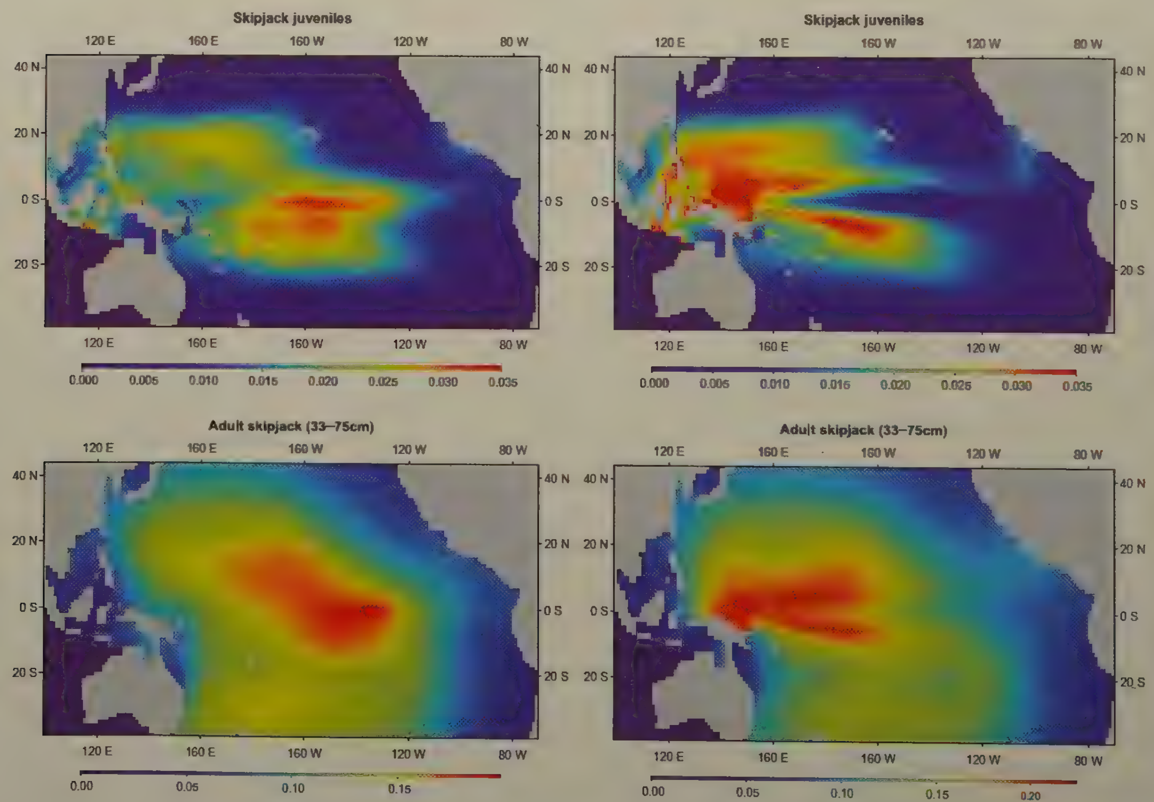



図6．SEAPODYMによって予測された生活史別カツオ生物量分布（Senina *et al.* 2008）（上：稚仔魚、下：33cm～75cmの成魚）。左：1997年11月（エルニーニョ時）、右：1998年11月（ラニーニャ時）。

に泳ぎながら時々表面にまで浮上する行動が明らかとなった。遊泳深度を昼夜別に比較すると、夜間は45%が５m以浅の表面を遊泳し、昼間も20%近くが表面を遊泳していた。

東部熱帯域で再捕された記録型アーカイバルタグを取り付けた体長66cm前後の大型のカツオ５尾の鉛直行動の特徴は、夜間の98.6%が水温躍層（44m）より浅い深度を、昼間は37.7%が水温躍層より深い深度を遊泳し、この昼夜の遊泳深度の違いは、深海音響散乱層（Deep-scattering layer；DSL）の日周変動と良く一致していることから、索餌行動に起因する行動であることが示唆された（Shaefer and Fuller 2009）。

現在のところ、日本近海、熱帯域を合わせても数個体のみの観察事実ではあるが、竿釣りやまき網の操業が昼間に行われることを考慮すると、カツオは昼間も概ね70%近くの時間は潜っており、浮上してきた僅かな時間がカツオと漁業との接点になっている。また、熱帯域における昼間に遊泳水深が水温躍層より深いことも明らかになってきている。これらの事実は、表層漁業の漁獲努力量の標準化を考える上でも重要な情報である。

## 引用文献


Arai, T., Kotake, A., Kayama, S., Ogura, M. and Watanabe, Y. (2005): Movements and life history patterns of the skipjack tuna *Katuwanus pelamis* in the western Pacific, as revealed by otolith Sr: Ca ratios. Journal of Marine Biological Association U.K. 85: 1211-1216.

浅野政宏（1984）：標識放流からみた東北海区のカツオの移動．昭和59年度カツオ研究協議会会議報告: 15-20.

伊藤進一、小倉未基、田邊智唯、竹内謙介、野中正見（1998）：カツオ大回遊モデルを用いた回遊経路の推定．東北水研研究報告. 60: 41-48.

嘉山定晃（2006）：西部太平洋におけるカツオ当歳魚の成長と回遊生態に関する研究．博士論文、東京大学．130pp.

川合英夫（1991）：黒潮系での総観スケールの構造と水産生物に及ぼす影響．「流れと生物と－水産海洋学特論－」（川合英夫編）京都大学学術出版会: 18-34.

川崎健（1965a）：カツオの生態と資源Ｉ．水産研究叢書8-1．日本水産資源保護協会：48pp.

川崎健（1965b）：カツオの生態と資源Ⅱ．水産研究叢書8-2．日本水産資源保護協会：108pp.

清藤秀理（2010）：漁業－資源－環境の関係を探る－海洋生態系・空間資源動態モデルSEAPODYMによるアプローチ．日本水産学会誌. 76(5): 990-996.

Lehodey, P., Bertignac, M., Hampton, J., Lewis, A. and Picaut, J. (1997): El Nino Southern Oscillation and tuna in the western Pacific. Nature. 389: 715-718.

Lehodey, P., Senina, I. and Murtugudde, R. (2008): A spatial ecosystem and populations dynamics model (SEAPODYM) – Modeling of tuna and tuna-like populations. Prog. Oceanogr. 78: 304-318.

Matsumoto, W.M., Skillman R.A. and Dizon. A.E.(1984): Synopsis of biological data on skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*. NOAA Tech. Rep. NMFS Circ. 451: 1-92.

松本隆之（2010）：カツオへのアーカイバルタグ装着の試み．遠洋リサーチ＆トピックス. 7: 12-13.

小倉未基（2002）：カツオの遊泳行動調査．遠洋水産研究所ニュース. 110: 2-7.

Schaefer, K. M. and Fuller, D. W.(2007): Vertical movement patterns of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the eastern equatorial Pacific Ocean, as revealed with archival tags. Fish. Bull. 105: 379-389.

Senina, I., Sibert, J. and Lehodey, P. (2008): Parameter estimation for basin-scale ecosystem-linked population models of large pelagic predators: Application to skipjack tuna. Prog. Oceanogr. 78: 319-335.

Sibert, J.R., Hampton, J., Fournier D.A. and Brill, P.J.(1999): An advection-diffusion-reaction model for the estimation of fish movement parameters from tagging data, with application to skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). Canadian

Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 56: 925-938.
田代一洋、内田為彦（1989）：標識放流結果からみた薩南海域へ来遊するカツオの移動. 宮崎県水産試験場研究報告. 4: 1-34.
渡辺洋、小倉未基、田邊智唯（1995）：標識放流からみたカツオの回遊について－南下期を過ぎてからの移動経路－. 東北水研研究報告. 57: 31-60.
安井港、森訓由（1985）：標識放流からみた日本近海へのカツオ（*Katsuwonus pelamis*）の来遊経路. 静岡県水産試験場研究報告. 20：1-8.

## Ⅵ. 特集後記

かつお・まぐろ資源部長　小 倉 未 基

今後のカツオ資源調査研究方針の骨子は本誌Ｒ＆Ｔ８号に掲載したように、「日本近海への来遊特性の解明」「中西部太平洋全体資源評価の精度向上」、の２点を柱にしている。これらを進めるに当たっては、水産庁のカツオ資源問題検討会の枠組みを基に、本年より近海竿釣り・遠洋竿釣り・北部まき網・海外まき網の各業界から多大な協力をいただいている。カツオの発生海域を明らかにするための耳石観察やそのほかの生物学的特徴を明らかにしていくための月毎のカツオ魚体標本提供、CPUEの改善に必要な探索機器や操業方法に関する基礎情報収集のための研究者便乗、漁獲データに記録されるよりさらに詳細な魚群単位での発見・漁獲情報の把握のためのGPSロガーによる漁船の詳細な行動データの取得、等に関し直接的対応や調整・事務処理を含めてご苦労をおかけしており、この紙面でお礼申し上げる。また、水産庁からの委託事業・補助事業の中で、従前から都県他の調査機関と協力してデータ収集・調査研究を進めている。さらには、カツオ資源に対する各方面の関心も高まる中で、消費サイドの民間企業から資金提供を受けての委託標識放流も実施している。

2010年12月の第７回WCPFC本会合で正式に決定されるが、2011年８月のWCPFC第７回科学委員会で再度カツオの資源評価が行われる可能性が高い。これに向けても、竿釣りCPUE解析のさらなる改善を図るとともに、海外まき網を中心としたCPUE解析も実施したいと考えている。この中では、業界のみならず機器メーカー等からの情報も貴重であると考えている。わが国漁業は漁業種類に拠らず、漁獲データが整備され付帯情報の収集も可能であり、漁業データからの資源豊度指数開発の面で各国をリードする立場にあり、資源評価において国際的に期待されているところが大きい。

わが国は、WCPFCにおいてカツオの分布中心の熱帯域に展開する遠洋漁業国としてはもちろん、日本周辺海域への来遊群を利用する沿岸漁業国としての立場も併せ持ち、カツオ資源の動向・管理の議論に参画している。回遊性資源でかつ分布の縁辺でも活発に利用されているカツオの資源管理にあたっては、資源全体の持続的利用のみを目指すことだけでは十分ではなく、各地域の各種漁業での利用の持続性確保も目標として資源管理を行うことを主張していく必要がある。今後とも、RFMOでの具体的な資源管理議論において的確な主張を行うための科学的根拠を、関係各位との協力の下、確実にかつ速やかに整備していきたい。

# 遠洋水産研究所 平成22年度研究奨励賞受賞論文の紹介

## 耳石日輪と0歳魚の体長別漁獲データから推定したクロマグロの産卵期別資源寄与率

日本水産学会誌 75(3), 412-418 (2009) 伊藤 智幸.

くろまぐろ資源部 温帯性まぐろ研究室長 伊 藤 智 幸



―耳石日輪と漁獲データからクロマグロの2-3割は日本海生まれと推定―

“本まぐろ”として知られるクロマグロ。その最近の話題性や漁業、食文化における重要性については言うまでもないだろう。本種の産卵場は日本の南西諸島海域から台湾（５月から６月）、日本海（７月から８月）が知られているが、それらの産卵場が魚の供給源としてそれぞれどれほど資源に貢献しているのかは明らかではない。仔稚魚豊度調査も有効な方法ではあるが、広範な時空間をカバーするのは困難であり、また初期生活史での高死亡率が漁業資源との関係を曖昧にする可能性がある。そこで本研究（伊藤 2009）は、初期減耗を経た後の漁業資源加入魚を対象とし、産卵時期、産卵場での調査が不要な長所を生かして、漁獲魚の耳石日輪と漁獲データを用いてアプローチした。

日本各地から収集したクロマグロ477個体（尾叉長17-93cm）の耳石を、表面にエッチングを施して輪紋構造を表出させ、走査型電子顕微鏡で観察し、微細輪紋を数えた。輪紋形成の日周期性及び第１輪形成日（Itoh *et al.* 2000）と漁獲日から 産卵・受精日（産卵日と記す）を逆算した。その結果、産卵日は３月中旬から12月上旬に及び、頻度分布は二峰形であった（図１）。太平洋沿岸で漁獲された魚の多くは５月中旬から６月下旬に産卵され、日本海で漁獲された魚の多くはその時期に加えて７月中旬から８月下旬に産卵されたものであった。

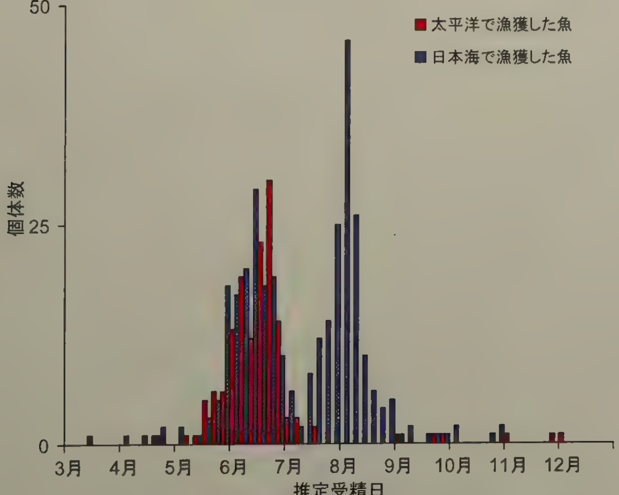



図１．太平洋クロマグロの耳石日輪数から逆算した推定受精日。（原図を改変）

次いで、産卵時期がそれぞれ大きく異なり、その結果として月別体長に大きな違いが認められることを利用して、定量的な産卵時期別貢献度の推定を日本の０歳魚全漁獲物に対して試みた。輪紋計数誤差及び個体間の成長変異が大きくなることから、この方法は０歳魚に限定せざるを得なかったものの、日本の０歳魚漁獲物が太平洋全体の全漁獲の平均59%と高い割合を占めていること（伊藤2001）から、漁獲魚全体に対して、さらに資源に対してある程度の代表性を有していると考えられる。

体長別漁獲尾数は、年齢別漁獲尾数よりも慎重に推定する必要があった。1993年からクロマグロ水揚げ物を調査する水産庁委託事業（日本周辺クロマグロ調査委託事業及び日本周辺高度回遊性魚類資源対策調査委託事業）が開始され、全国21の水産試験場等職員の努力によって日本のほぼ全てのクロマグロ漁獲物に対して包括的かつ充実した水揚げデータが収集されるようになり、また魚体測定調査も実施されてきた。その努力に報いたいというのが私の研究のモチベーションとなった。魚体測定データは主要な漁獲物に対してはかなりの割合で得られたものの、水揚げが不定期なクロマグロに対しての魚体測定調査は欠落する時期、地域も多くあった。何県のどこの港で水揚げされた何漁法の漁獲量には、どこの体長組成データを当てはめるべきか、測定尾数が少ない場合にはどうするのか、一つ一つ試行錯誤を繰り返し、手作業的につなぎ合わせていった。当時のパソコンとデータベースソフトでは作業が少し複雑化するとすぐにフリーズし、悪態をつき

ながらパソコンを何度も再立ち上げした。判断基準を一貫的にするべく、何度か同じ作業を繰り返した。

得られた海域（太平洋側、日本海+東シナ海側）別、年・月別の体長別漁獲尾数を複数の正規分布に分解し、各正規分布について耳石日輪解析から求めた月別体長関係と比較して発生時期を推定した（図２）。発生時期別に漁獲尾数を集計すると、７月以前（主に５月から６月）に生まれた魚が76%（５年間の平均）と多くを占めたものの、７月から８月といった遅い時期に生まれた魚も平均24%、大きな年には40%を占め、資源の重要な供給源になっていることが示唆された（表１）。

本研究の解析では産卵場に関する情報は得られないものの、既往の論文、最近の未発表データ、遠水研での仔稚魚採集データベースを調べ、特に1950年代からの報告書的論文における断片的記述を拾い上げて次のように整理した。①３月中旬から５月にルソン島から

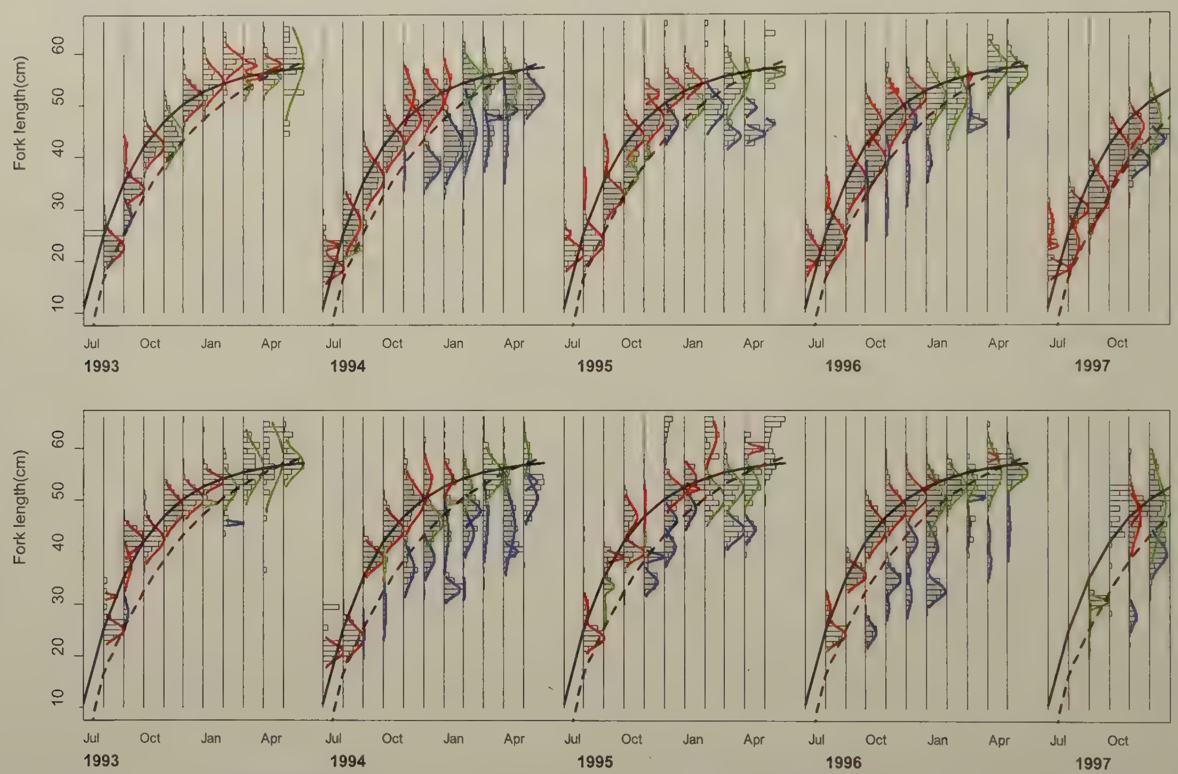



図２. 太平洋クロマグロの月別体長頻度データ。(A) 太平洋、(B) 日本海。曲線は耳石日輪から推定した成長式で、実線は推定産卵日が７月上旬以前、点線はそれ以後。棒グラフで、灰色はその月の漁獲尾数が１万尾以上、白色はそれ未満。正規分布は、推定産卵時期が７月上旬以前（赤）、それ以降（青）、両者の区分が不明確（緑）で色分けした。（原図を改変）

表１　太平洋クロマグロ0歳魚の推定産卵時期別漁獲尾数

| 年級 | 〜７月上旬 | ７月中旬〜 |
|---|---|---|
| 1993 | 331,401（　95%） | 17,263（　5%） |
| 1994 | 1,905,116（　60%） | 1,291,475（40%） |
| 1995 | 522,126（　77%） | 159,460（23%） |
| 1996 | 1,440,121（　72%） | 552,816（28%） |
| 1997 | 239,048（　78%） | 68,777（22%） |
| 平均± 標準誤差 | 76 ± 18 % | 24 ± 18 % |

平均は1993-1996年級の平均。1997年12月までしか含んでいない1997年級は除外した。

台湾にかけての海域、②4月下旬から6月下旬の台湾近海から南西諸島周辺海域、③6月下旬から8月下旬の日本海、④6月中旬から7月中旬の133Eから150Eの本州南～南東沖太平洋。よって、7月以前に生まれた魚は上記①、②が由来と考えられる。7月から8月は上記③と④を合わせたものと考えられるが、漁獲位置が日本海側で多いことから特に③の日本海産卵に由来すると考えられた。

なお、産卵時期・海域によってクロマグロ親魚の大きさは異なっており、台湾近海では尾叉長210cm以上、南西諸島海域と本州の南から南東沖では尾叉長160～210cm、日本海では通常160～210cmで年によって120～160cmの魚も漁獲される（Itoh 2006）。それぞれの産卵に貢献する親魚の大きさ、年齢も異なっているだろう。

本研究ではさらに、9月以降のおそらく日本海での産卵も示唆された。資源への貢献はわずかなようだが、生物学的な産卵能力の点で興味が持たれる。本研究ではそれぞれの産卵期を固定的に考えたが、年ごとの海況によって変動するかもしれないし、貢献度は親魚資源の年齢構造によっても変化するであろう。今後のさらなる調査、研究の発展を期待したい。

**参考文献**

伊藤智幸（2009）：耳石日輪と0歳魚の体長別漁獲データから推定したクロマグロの産卵期別資源寄与率．日本水産学会誌．75（3）：412-418

Itoh,T., Shiina,Y., Tsuji,S., Endo, F. and Tezuka,N. (2000): Otolith daily increment formation in laboratory reared larval and juvenile bluefin tuna *Thunnus thynnus*. Fisheries Science. 66: 834–839

伊藤智幸（2001）：太平洋全体におけるクロマグロの漁獲量，年齢別漁獲尾数の推定．遠洋水研研究報告. 38: 83-111

Itoh,T.(2006): Sizes of adult bluefin tuna *Thunnus orientalis* in different areas of the western Pacific Ocean. Fisheries Science. 72: 53–62.

## 海洋生態系を『視』る

外洋資源部 外洋生態系研究室　米　崎　史　郎



—生態系モデルEcopath with Ecosimを使った、海洋生態系における生物間相互関係の可視化を試みる。—

### 生態系の構造と機能を知る

『生態系を考慮した漁業管理』が、水産資源を持続的に利用するために有効な概念かどうか、国内外を問わず議論されるようになってきた。この『生態系を考慮した漁業管理』とは、具体的にどういうものなのか？この問いに対して、我々は明確な答えを導けていない。我が国では1996年国連海洋法条約に批准し、TAC（海洋生物資源の保存及び管理に関する法律）制度による資源管理をスタートさせ、約80種に上る水産有用種について対象魚種ごとの資源評価（単一魚種管理）を行っている。しかしながら、海洋生物は漁業活動のみならず、環境変化や生物間相互作用（捕食－被食関係や生息場所を巡る競争）による影響を（互いに）受けながら、生態系を構成している。

生態系を考慮した漁業管理とは、漁獲対象種だけではなく、それを取り巻く生態系全体の適切な管理を目指す考え方であるが、具体的にどのような方法を用いて、生態系をどのような状態にするのか、目的や方法論が漠然としているため、実用的な管理施策までには至っていない。その原因としては、生態系が現在どのような状況にあり、それをどのような状態に維持するのが望ましいか、という点に対して、研究者・行政・漁業者・消費者の間で認識に差があることが挙げられる。その点を改善するためには、海洋生態系がどのような構造（食物網や生物間相互作用の強弱など）を持ち、どのように機能するのか（環境変化に対して、どのような応答を見せるのかなど）理解する必要があり、生態系を構成する種の情報共有を進めなければならない。日本には資源評価を行っている種に対して、調査船調査や漁業のデータが長年蓄積されているが、種横断的

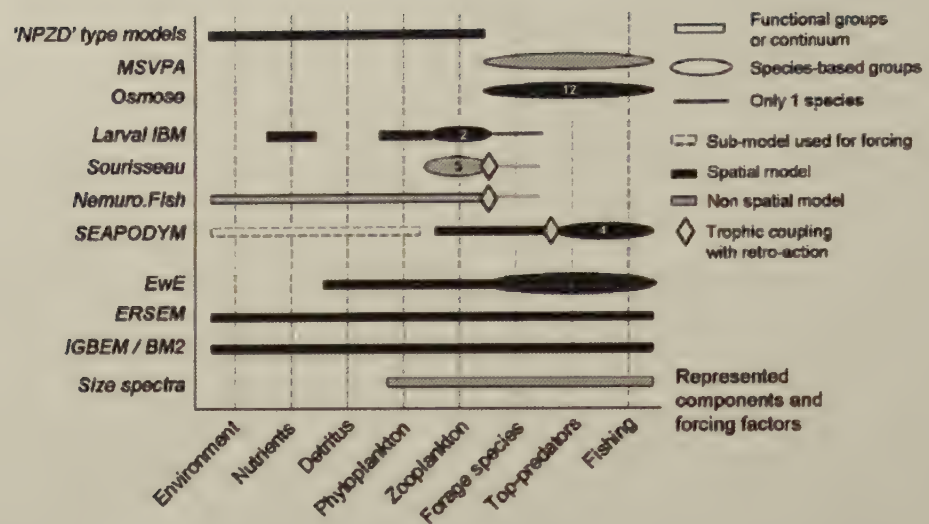



図１．代表的な生態系モデルの特徴と取り扱う生態系構成要素の範囲（Travers *et al.*（2007））。

な統合解析（多魚種一括解析）がなされておらず、データを活かし切れていない側面もある。海洋生態系における構造と機能を広く一般に知ってもらうには、我々研究者が保持している長期時系列モニタリングデータを発掘・整備し、まずはマクロな視点で解析することが肝要ではないかと考える。

そこで、外洋生態系研究室では、今年度遠洋水産研究所所内プロジェクト研究『調査モニタリングデータへの生態系モデルの適用可能性の検討』を立ち上げた。次節からは、その研究成果の一部を紹介する。

## 生態系モデルEcopath with Ecosimとは

生態系を網羅的に捉えるツールとして、様々な生態系モデルが開発されている（図１）。生態系モデルとは、構成種が持つ様々な生物学的パラメータ（現存量、捕食、成長、再生産など）や環境要因（水温、溶存酸素、流れなど）を数値化し、捕食-被食関係やハビタット選択などを通して、構成種をリンクさせ、系全体を表現するものである。生態系モデルは、捉えるスケールに応じて、２つに分類することができる；１）生態系を構成する要素の中で解析者が注目する生物群を取り出す生態系部分抽出型モデル（Minimum Realistic Model（MRM）型）、２）低次生産から高次捕食者まで包括的に取り扱ったend-to-end型モデル である。我々の研究グループでは、i）生態系において低次～高次まで広くカバーできること、ii）複数の種を一括して取り扱えること、iii）モデルが要求するパラメータと使用する調査データの特性がなるべく合致していること、さらに iv）漁獲の影響を評価できること、などから、資源調査モニタリングデータに適用させる実用的なend-to-end型モデルとしてEcopath with Ecosim（EwE）モデルに注目した。EwEモデルは、生態系を構成する生物群のバイオマス（生物体の重量）を通貨とし、各構成種の消費量や餌組成を考慮して、系全体のバイオマス収支をバランスさせる（マスバランス）基本構造を持っている。物質循環は考慮されていないものの、低次生産から高次捕食者まで幅広くかつ一括して取り扱うことができ、漁獲努力量の変化や空間分布を考慮した解析も行うことができる。

EwEモデルには、３つの解析モジュール（Ecopath, Ecosim, Ecospace）が格納されている。EcosimやEcospaceは、Ecopathによって推定されたパラメータを基にシュミレーションするもので、Ecopathでのパラメータ・チューニングが極めて重要な作業となる。したがって、本稿では主にEcopathについて述べる。Ecopathは、生態系を構成する各種の生産量、消費量、被食量などのパラメータから系全体のバイオマスのバランスをとり、各構成種の栄養段階や捕食・漁獲によって利用されるバイオマスを推定する静的モジュールである。各構成種のバイオマスに対し、以下の式で平衡・定常状態を推定する。

$$B_i(P/B)_i * EE_i - \sum_{j=1}^{n} B_j * (Q/B)_j * DC_{ji} - Y_i - E_i - BA_i = 0 \quad (1)$$

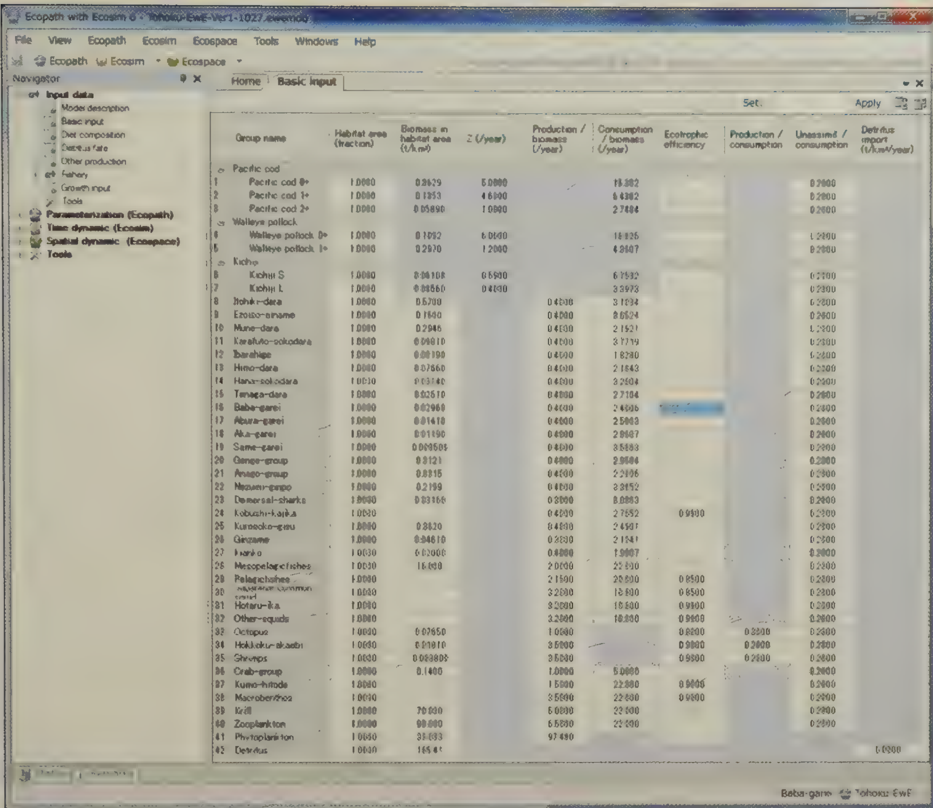



図２．EwEモデル（Ver.6.1.0.625）のInput data-Basic input設定画面。

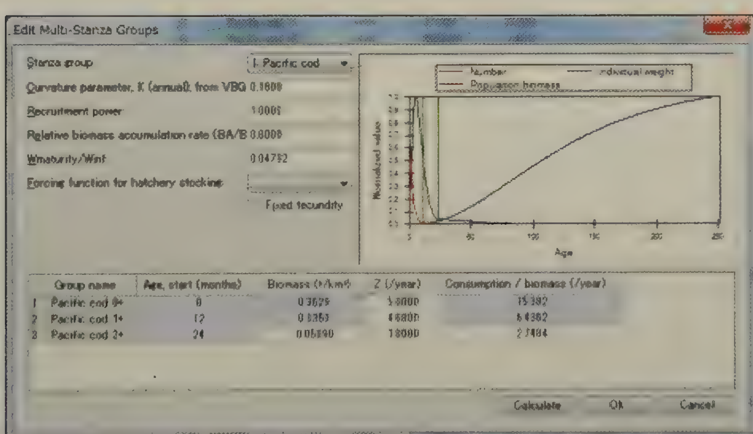



図３．EcopathモジュールのInput dataにおけるMulti-Stanza設定画面。図中の白色部のセルはインプットデータ、青色部はアウトプットデータを示している。

ここで、$B_i$は構成種$i$のバイオマス、$(P/B)_i$は構成種$i$のバイオマス当たりの生産量、$EE_i$は構成種$i$の漁獲および捕食されるバイオマスの割合、$(Q/B)_i$は構成種$i$のバイオマス当たりの消費量、$DC_{ji}$は構成種$i$の捕食量に占める餌生物$j$の割合、$Y_i$は構成種$i$の漁獲量、$E_i$は構成種$i$の純移入量、$BA_i$は構成種$i$の成長や繁殖などの蓄積バイオマスを示す。(1)式の被食量（捕食－被食関係）を系全体の構成種間でリンクさせ、構成種全体として線形連立方程式を解くことにより、未知のパラメータを推定することが可能である。

具体的には、EcopathモジュールのInput data-Basic input画面にて構成種のバイオマス（$B$）、生産量（$P/B$）、消費量（$Q/B$）、餌組成データ（$DC$）などのパラメータをインプットする（図２）。また、Ecopathモジュールには構成群の生活史段階（成熟・未成熟など）を考慮することのできるMulti-Stanzaという機能が装備されており、生活史段階別の自然死亡係数、餌生物組成を個別にインプットすることができる（図３）。

各構成種のパラメータをインプット後、主に*EE*と*P/Q*（生産量と消費量の比率）が1未満になるように、また各構成種の*B*が非現実的な数値にならぬよう、双方をチェックしながら、パラメータのチューニングを行うことになる（図4）。次節では実際の調査モニタリングデータをEcopathモジュールに適用した例を紹介する。

## 東北沖の底魚生態系を『視』る

東北区水産研究所 八戸支所が行っている春季および秋季の底魚資源調査モニタリングデータをEwEに適用し、東北沖底魚生態系の構造と機能の特徴についての可視化を試みた。モデル構成種は、底魚類を中心とした42グループ（タラ類：2種、ソコダラ類：6種、カレイ類：4種など）に分類し、またマダラ、スケトウダラ、キチジについては、齢別または体長別に分解し、Multi-Stanzaグループとして取り扱った。推定された各構成種のバイオマスと栄養段階を図5に示す。栄養段階としては、マダラ2+、アブラガレイ、キアンコウ、ムネダラ、ヒモダラがいずれも4.0以上と高かった。また、ソコダラ類やカレイ類内でも、ハナソコダラやババガレイなど栄養段階が3.0と低い種があり、栄養段階に幅があった。このように漁業対象種の栄養段階は、必ずしも高位なものばかりではないことが、生態系の構造をみることによりわかる。

Ecopathモジュールには、Network analysisというツールも用意されている。各構成種のバイオマスのバランスをとった後に、構成種のバイオマスの変化が他の構成種のバイオマスにどれだけの影響を与えるのか視覚的に捉えることができる（Mixed trophic impact解析）（図6）。この解析により、底魚類内の種間関係よりも底魚類と餌生物との捕食－被食関係の方が、インパクトが大きく、この生態系の機能を特徴付けていた。

## おわりに

EwEモデルのEcopathモジュールを使って東北沖底魚生態系の構造と機能の特徴についての『可視化』を試みた。生態系内の生物間相互関係を視覚的に示し、世間一般の人々にわかりやすく解説するには、とても強力なツールとなり得るだろう。海洋生態系を巡る認識は、研究者・行政・漁業者・消費者などの間で異

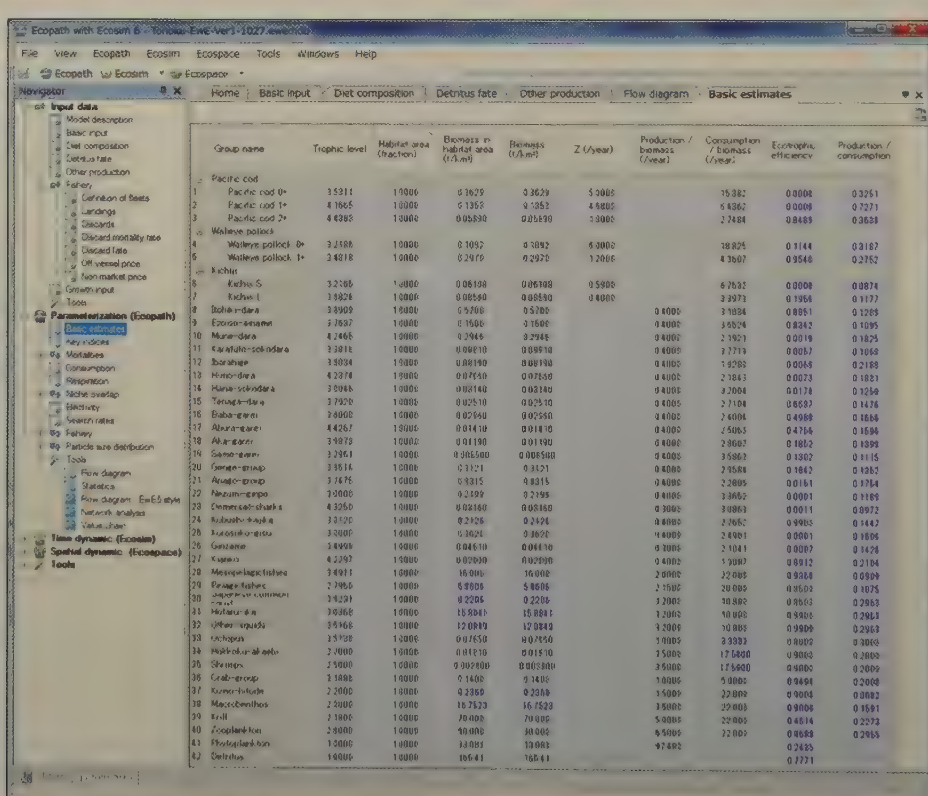



図4．Ecopathモジュールにてマスバランスチューニング後の各構成種のパラメータ。青字はアウトプットデータを示している。

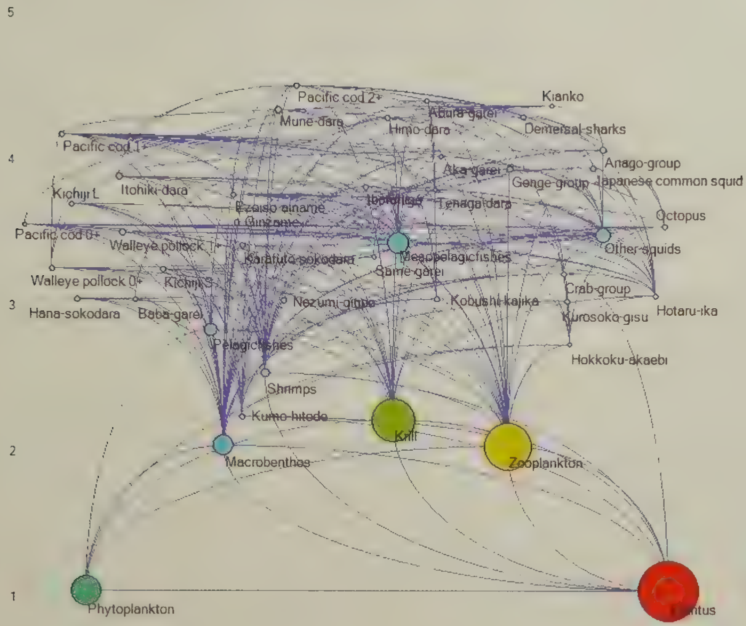



図5．Ecopathモジュールにより推定された東北沖底魚生態系の42グループの栄養段階。円の大きさはバイオマスを示す。

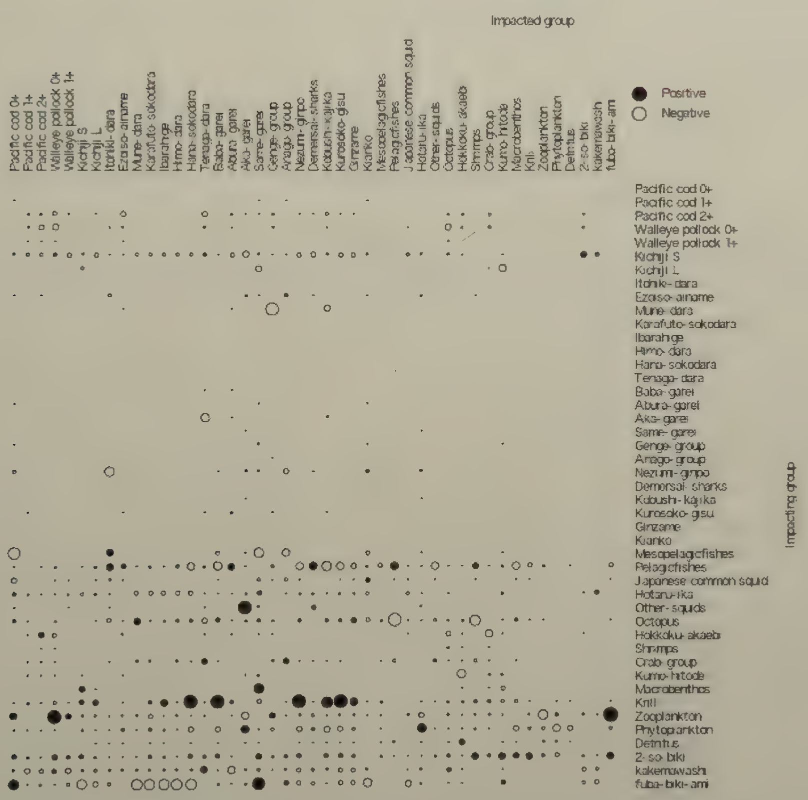



図6．EcopathモジュールのNetwork analysis内のMixed torphic impactの結果。縦軸に影響を与えるグループ、横軸に影響を受けるグループ、黒丸が正の効果、白丸が負の効果をそれぞれ示している。例えば、キアンコウのバイオマスが増えた場合、イトヒキダラは正の、マダラ0+やサメガレイなどには負の影響をそれぞれ与えることを示している。

なっているので、生態系の構造と機能の共通理解を得るツールとして、EwEモデルには大きな可能性を秘めている。開発されてから約20年が経ち、決して真新しい生態系モデルではないが、その間着実な進化を遂げており、世界各地の水域で適用されている実績を持つ。さらに誰もが利用できるフリーウェアソフトである（http://www.ecopath.org/）。今稿で紹介したモデリングの解析例は、EwEモデルが持っている機能の

一部でしか過ぎない。Ecosim・Ecospaceモジュールとこれらに付随した解析ツールを駆使することで、漁獲量の将来予測や漁場管理などのシミュレーション解析も可能である。ただ、モデリングする上で気を付けなければいけないのは、マスバランスをとるためのパラメータ・チューニング作業である。構成種の生態的特性を十分に把握しておかなければ、現実から乖離した生態系モデルを構築することになり、それに基づいた将来予測が非現実的なものになりかねないので、注意が必要である。今後は、水産資源の持続的利用を考える上で、生態系モデルによるアウトプットの情報を研究者間だけでなく、広く一般に情報を提供することが益々必要になってくるだろう。

### 参考資料


Christensen, V., Walters, C. J., Pauly, D. and Forrest, R. (2008): Ecopath with Ecosim version6 User Guide. Lenfest Ocean Futures Project 2008. 235pp.

清田雅史（2009）：海洋生態系モデルの分類と解説．ホームページhttp://cse.fra.affrc.go.jp/kiyo/home/ecosis/Existing_Models.html

清田雅史（2010）："持続可能"な漁業と海洋生態系のために－データの活用と多角的議論の重要性－．科学．80：227-229.

松石 隆（2005）:ECOPATH with ECOSIM．月刊海洋．37：212-220.

Plagányi, E. E.(2007): Models for an ecosystem approach to fisheries. FAO Fisheries Technical Paper 477, 126pp.

Travers, M., Shin, Y.-J., Jennings, S. and Cury, P. (2007): Towards end-to-end models for investigating the effects of climate and fishing in marine ecosystems. Progress in Oceanography 75: 751-770.


*COLUMN* －刊行書籍紹介－

## 「マグロのふしぎがわかる本」


中野秀樹・岡　雅一
2000円+税　四六判並製　280頁　2010年７月発行
ISBN 978-4-8067-1404-0

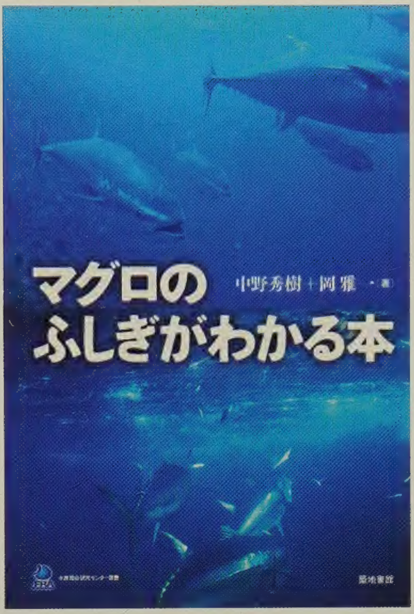


くろまぐろ資源部長　中　野　秀　樹


念願のマグロに関する本がこの７月に刊行された。これまで一般向けにまぐろの科学を説明した本はなかったような気がする。多くはまぐろの流通（商売）をセンセーショナルに扱った本か学術書であり、一般の人が気軽に読めるまぐろの科学を扱った読み物は少なかった。

今回刊行した本「マグロのふしぎがわかる本」はそのようなニーズにこたえるために、わたしと岡雅一が水研センター叢書として執筆した。マグロに関わる生物学から、漁業、利用の歴史、資源の保全と管理までわかりやすく説明した解説本である。マグロに関わる全体像を理解するのに適している。執筆に当たっては「読みやすくわかりやすく」に努め、文章からいろいろなイメージがわき出てくるような表現をするよう努力した。著者らの意図するところが伝わったかどうかは、読者の判断にゆだねたい。

また一般の読者が興味をひかれるようなトピックスをとりあげ、興味をもって読み進めるうちに、マグロの科学的な側面が十分に理解できるように努めた。とりあげたトピックスは、おいしいマグロの種類はどれ？高級マグロのお値段？マグロの進化、寿命、おいしい調理法、まぐろは卵を何個産む？まぐろは成長し続ける？縄文人とまぐろ、江戸時代は塩まぐろ、流通の歴史から資源管理まで、これからマグロは食べられなくなる？などなどである。以下に目次を示すこととする。できれば手にとって一読いただけたら望外の幸せである。


マグロの
ふしぎがわかる本
中野秀樹＋岡雅
築地書館

# 遠洋水産研究所主な出来事（平成22年4月1日～平成22年9月30日）

●国際会議

| 月 | 用　　務 | 出　張　先 |
|---|---|---|
| 4 | WCPFC 資源評価事前会合（宮部、小倉、岡本、庄野） | ヌーメア（ニューカレドニア） |
| 4～5 | ICCAT メバチ資源評価データ準備会合（佐藤（圭）） | マドリード（スペイン） |
| 5 | NAFO カラスガレイ（MSE）＋VME　作業部会（西田） | ハリファックス（カナダ） |
| 5 | IATTC メバチ資源評価外部レビュー（宮部） | ラホヤ（アメリカ） |
| 5 | IOTC＋OFCF新事業協議及びIOTC地域オブザーバー制度協議（西田） | ビクトリア（セーシェル） |
| 5 | 世界まぐろ会議（市野川、大島、甲斐） | レイクアローヘッド（アメリカ） |
| 5～6 | IWC 国際捕鯨委員会 第62回年次会合科学委員会（魚住、宮下、吉田、岡村） | アガディール（モロッコ） |
| 5～6 | マグロ漁業管理機関合同会合（宮部、中野） | バルセロナ（スペイン） |
| 5～6 | ICCAT 生態系作業部会（余川） | マドリード（スペイン） |
| 6 | NAFO 科学理事会（西田） | ダートマス（カナダ） |
| 6 | ICCAT 大西洋クロマグロデータ準備会合（伊藤、木元） | マドリード（スペイン） |
| 6 | CCSBT ミナミマグロMP技術会合（伊藤、高橋、黒田、境） | シアトル（アメリカ） |
| 6 | Kobe2プロセス合同RFMO 混獲作業部会（余川、南） | ブリスベン（オーストラリア） |
| 7 | ICCAT メバチ資源評価会合（佐藤（圭）） | バサイア（スペイン） |
| 7 | ISC 太平洋くろまぐろ会議（甲斐、岩田） | ナナイモ（カナダ） |
| 7 | ISC クロマグロ作業部会（中野、竹内、市野川、大島） | ナナイモ（カナダ） |
| 7 | IOTC メカジキ日台CPUE標準化共同作業及び第8回かじき作業部会（西田） | ビクトリア（セーシェル） |
| 7 | ISC ビンナガ作業部会及び本会議（宮部、中野、竹内、余川、魚﨑、松本、市野川、大島） | ビクトリア（カナダ） |
| 7～8 | CCAMLR 統計モデリング作業部会及び生態系モニタリング作業部会（清田、瀧） | ケープタウン（南アフリカ） |
| 7 | サメ類の国際取引が及ぼす影響についてのワークショップ（仙波） | ローマ（イタリア） |
| 8 | 第5回国際漁業者フォーラム（阿部、西田） | 台北（台湾） |
| 8 | WCPFC 中西部太平洋まぐろ類委員会 第6回科学委員会（宮部、小倉、中野、岡本、魚﨑、余川、庄野、仙波、南、清藤） | ヌクアロファ（トンガ） |
| 8 | SEAFO メロ資源解析日韓共同作業（西田） | 釜山（韓国） |
| 8～9 | IATTC サメ技術会議及び第1回科学委員会（岡本、庄野） | ラホヤ（アメリカ） |
| 9 | 北太平洋海域における公海漁業管理に関する第9回多国間協議会（林原） | ユジノサハリンスク（ロシア） |
| 9 | CCSBT みなみまぐろ保存委員会 科学委員会（伊藤、高橋、黒田、境） | 台北（台湾） |
| 9 | ICCAT 大西洋まぐろ類保存委員会 クロマグロ資源評価会合（市野川、木元） | マドリード（スペイン） |
| 9 | ISSFまき網混獲低減技術開発委員会会合（小倉） | パリ（フランス） |
| 9 | IUCN大西洋まぐろとかじき類のレッドリスト作業部会（宮部） | ブラジリア（ブラジル） |
| 9 | 第3回NAFOカラスガレイMSE行政官+科学者共同作業部会（西田） | ハリファックス（カナダ） |
| 9～11 | SEAFO〔科学小委員会＋科学委員会＋年次会合〕、IOTC〔熱帯性まぐろ＋エコシステム・混獲＋漁獲能力　作業部会〕（西田） | ウィンドヘック（ナミビア）・ビクトリア（セーシェル） |
| 9～10 | 中西部太平洋まぐろ漁業委員会技術及び違反委員会（宮部） | ポンペイ（ミクロネシア） |
| 9～10 | SISAMのワークショップ（竹内） | ナント（フランス） |
| 9～10 | 第81回IATTC年次会合（岡本） | アンティグア（グアテマラ） |
| 9～10 | ICCAT魚種別グループ会合及び本会議（中野、松永、佐藤（圭）） | マドリード（スペイン） |

●学会・研究集会

| 月 | 用　　務 | 出　張　先 |
|---|---|---|
| 5 | 国際研究集会〔国際頭足類漁業シンポジウム〕（酒井） | 浙江省・舟山市（中国） |
| 6 | 第61回水産資源管理談話会及び幹事会（庄野） | 東京都 |
| 6 | 「消費者と考える国際マグロシンポジウム～日本の食卓が地球環境を変える～（高橋） | 東京都 |
| 8 | 交付金プロ研設計会議、WWF主催クロマグロシンポジウム（竹内、市野川） | 神奈川県横浜市 |

| | | |
|---|---|---|
| 8 | 第13回 北西太平洋ミンククジラ分科会（宮下、岩﨑） | 東京都 |
| 9 | 第14回 北西太平洋ミンククジラ分科会（宮下） | 東京都 |
| 9 | 第20回数理生物学会（岩田） | 北海道札幌市 |
| 9 | 第16回野生生物保護学会・日本哺乳類学会2010年度合同大会（清田、岩﨑、金治、南川、アメリカ崎） | 岐阜県岐阜市 |
| 9 | 平成22年度日本水産学会秋季大会（宮下、岩﨑、柳本、金治） | 京都府京都市 |

●フィールド調査（海上）　官船及び水研センター船

| 月 | 調査名 | 出張先 |
|---|---|---|
| 5－6 | 天皇海山海底環境調査（林原：開洋丸） | 天皇海山海域及び北東太平洋 |
| 5－6 | クロマグロ仔稚魚分布調査（田邉：俊鷹丸） | 南西諸島海域 |
| 6－7 | 天皇海山海底環境調査とクサカリツボダイ幼魚調査（柳本：開洋丸） | 天皇海山海域及び北東太平洋 |
| 7－8 | 日本東方沖における混獲生物調査（南：俊鷹丸） | 日本東方沖 |

●フィールド調査（海上）　その他船舶

| 月 | 調査名 | 出張先 |
|---|---|---|
| 5－8 | アメリカオオアカイカ調査（カナダ藤：第八白嶺丸） | カヤオ（ペルー） |
| 5－6 | カマイルカ生態調査Ⅰ（岩﨑、南川：第八開洋丸） | 本州及び北海道南部日本海沖 |

●フィールド調査（陸上）

| 月 | 調査名 | 出張先 |
|---|---|---|
| 4 | 味の素委託標識放流調査（松本） | 鹿児島県瀬戸内町 |
| 5 | 味の素委託標識放流調査（松本） | 鹿児島県瀬戸内町 |
| 6 | 函館沖ツチクジラを捕獲対象とした小型捕鯨業の監視及び調査（木白） | 北海道函館市 |
| 6 | 標識回収依頼の広報活動、味の素委託標識放流調査（松本） | 鹿児島県鹿児島市・枕崎市 |
| 7 | 土佐湾沿岸性鯨類生態調査（木白） | 高知県黒潮町 |
| 8 | 土佐湾ヨコワ曳網調査（大島、甲斐） | 高知県土佐清水市 |
| 8 | 第2回土佐湾沿岸性鯨類生態調査（木白） | 高知県黒潮町 |
| 9 | 釧路沖鯨類捕獲調査（南川） | 北海道釧路市 |
| 9 | 釧路沖鯨類捕獲調査（木白） | 北海道釧路市 |
| 9－10 | 釧路沖鯨類捕獲調査（岩﨑） | 北海道釧路市 |

# それでも地球は動いている

## 編集後記

猛暑の夏がようやく終わり、秋が足早にやってきました。本号は「カツオ」特集です。食材だけでなくダシ原料として日本人の食卓に欠かせないのがカツオです。一方、カツオはツナ缶詰の主要原材料として世界の巨大市場を支えています。古くから日本人に馴染み深い魚ながら、移動や回遊などの生態にはまだ謎が多いカツオについて、最新の科学情報と資源状況を整理した本号の記事が、皆様にお役立ていただければ幸いです。

さて、毎回お届けしている静岡情報ですが、今回は「滝」特集です。滝と言えば、マイナスイオンやパワースポットなどの効能がささやかれていますが、真偽のほどは別としても、確かに、滝は見る者をすがすがしい気分にしてくれます。静岡市は当研究所が臨む駿河湾から3000m級の南アルプスの頂上に至る山海の自然に恵まれ、多くの滝もあります。夏から秋に、静岡市西部を流れ駿河湾に注ぐ、安倍川餅（あべかわもち）でも知られた「安倍川」の上流に足を伸ばし、滝巡りをしました。この周辺には「梅ヶ島（うめがしま）温泉」など古くは武田信玄の隠し湯ともいわれた温泉も点在し、静岡市民の憩いの場となっています。安倍川上流の山間斜面には「本家本元の静岡茶」を意味する「本山茶」（ほんやまちゃ）で有名な茶畑が広がり、ワサビ栽培発祥の地といわれる「有東木」（うとうぎ）地区など、特有の自然を活かした地場産業が見られます。安倍川の最上流域には落差90mの圧巻を誇る「安倍の大滝」（あべのおおたき）や豪快な「赤水の滝」（あかみずのたき）など多くの名瀑があります。赤水の滝は県道脇から眺められますが、安倍の大滝へは、つり橋のスリルと山道のアップダウンを乗り越えて歩くこと40分ほどです。安倍川渓谷西側の南アルプス前衛の山々を越える富士見峠からは、カツオ節で有名な焼津港の西方で駿河湾に注ぐ大井川の源流域、井川（いかわ）渓谷を挟んで、南アルプス赤石山脈の山々が望めます。

我が国の自然と風土に根ざした日本食文化を支える水産資源の安定供給確保とその持続的な利用のために、私たちは世界の海あるいは会議の場で地道に活動を続けて行きます。

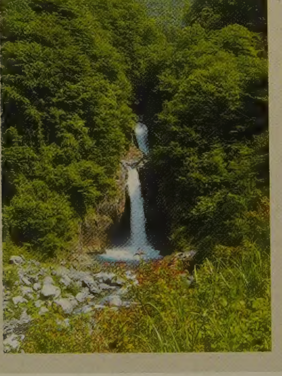
（業務推進部長　本多　仁）



←安倍の大滝（左）

↓大滝へのアプローチ（下左から、入口→つり橋→滝つぼ前の遊歩道）



←赤水の滝



←紅葉の富士見峠から
南アルプスを望む

FRA
Fisheries Research Agency
発行／独立行政法人 水産総合研究センター　編集／独立行政法人 水産総合研究センター　遠洋水産研究所
〒424-8633 静岡県静岡市清水区折戸5丁目7番1号　TEL 054-336-6000　FAX 0543-335-9642　E-mail：www-enyo@fra.affrc.go.jp
http://fsf.fra.affrc.go.jp/